



Neuentwicklung eines Handlingmoduls für eine autonome Roboterplattform

Diplomarbeit
von
Michael Kollar

Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau
Studienzweig Mechatronik

eingereicht am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik

Technische Universität Graz

Betreuer:
o. Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr. techn. Gunter Jürgens
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Michael Bader
Dipl.-Ing. Helmut Puschnig

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit dokumentiert die Neuentwicklung eines Ballhandlingmoduls für den Einsatz auf autonomen Fußballrobotern.

Das beschriebene Modul ist Teil der dritten Generation von Robotern des, in der Middle Size Liga tätigen, Mostly Harmless RoboCup Teams der Technischen Universität Graz und soll sowohl eine sichere Ballführung, als auch eine möglichst breite Variation von Schussvorgängen ermöglichen. Ausgehend von grundlegenden Betrachtungen zum Stoßprozess, den verschiedenen kinematischen Ketten und möglichen Aktoriksystemen sowie einer Erhebung zum Stand der Technik wird ermittelt wie der optimale horizontale sowie vertikale Schuss bewerkstelligt werden kann.

Die auf diesen Überlegungen basierenden Kennzahlen werden durch praktische Versuche zu verschiedenen Systemkomponenten verifiziert um darauf aufbauend die Konstruktionsevolution des Moduls zu beschreiben.

Dabei wird so vorgegangen, dass Hypothesen beziehungsweise verschiedene grundlegende Konzepte erarbeitet und bewertet werden, um die vorteilhafteste Lösung zu finden, welche dann detaillierter betrachtet wird.

Abschließend erfolgt ein Vergleich der alten und der neuen Generation und es wird ein Ausblick auf mögliche Folgeprojekte gegeben.

Abstract

This thesis documents the design of a Ballhandling Module to be used on an autonomous robot. The described module is a crucial part within the third generation of soccer playing robots, developed by the Mostly Harmless Team of Graz University of Technology who participates in worldwide RoboCup Middle Size League Tournaments.

Its main tasks can be seen in controlling the ball while the robot is moving and guaranteeing a broad range of shooting possibilities.

First the significant parameters influencing the stated tasks are theoretically derived from various disquisitions on collision, kinematic chains, actoric concepts and a review of competitors.

The gained numbers are verified through experiments of significant components and serve as basis for the design concept.

To determine the most expedient concept, different fundamental approaches are made and then rated to find out the solution that offers the most advantages which is then carried out in detail.

In the end a comparison between the old and new generation of Ballhandling Modules is put together to show the many advantages of the new design.

Danksagung

Das Projekt das der vorliegenden Diplomarbeit zu Grunde liegt wäre, ohne die Unterstützung zahlreicher Personen und Unternehmen, nicht durchführbar gewesen.

Zuerst möchte ich meinen Eltern, Tina und Franz Kollar dafür danken, dass sie mir die Möglichkeit gegeben haben, diesen Karriereweg einzuschlagen und mich motivierten zusätzlich zum Universitätsstudium, vielen extrakurrikularen Aktivitäten nachzugehen.

Besonders hervorheben möchte ich zudem Norbert Rath, mit dem ich einen Großteil der Entwicklung der neuen Fußballrobotergeneration zusammen geplant und durchgeführt habe und dabei unzählige Stunden vor Maschinen, Computern oder weißen Seiten Papier mit ihm verbrachte.

Großer Dank gilt auch allen Bediensteten des Instituts für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik, o. Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr. techn. Gunter Jürgens, Dipl.-Ing. Helmut Puschnig, Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Bader, Ass.Prof. Dipl.-Ing.Dr.techn. Friedrich Faber, Nicole Eichberger, Dipl.-Ing. Veronika Riemer, Wolfgang Pucher und dem Leiter der Werkstätte, Manfred Wilding.

Ganz wesentlichen Einfluss auf den Erfolg dieses Projekts haben natürlich alle Team-Mitglieder des Mostly Harmless RoboCup Teams, allen voran Harald Altinger, Roland Angerbauer, Dominik Lechner und Markus Eger, mit denen ich viele erfolgreiche und aufregende Momente erleben durfte.

Zusätzlicher Dank gilt auch Alexandra Hanischläger für das stundenlange Korrekturlesen dieser Diplomarbeit.

Zuletzt gebührt mein besonderer Dank allen Sponsoren, Partnern und Freunden des Mostly Harmless RoboCup Teams, ohne die eine erfolgreiche Durchführung dieses Projekts mit den vorhandenen Mitteln und in so kurzer Zeit nicht möglich gewesen wäre. Besonders hervorheben möchte ich in diesem Zusammenhang Herrn Franz Nagelreiter, Leiter Systemtechnik der Firma FESTO AG Österreich, dessen tatkräftiger Einsatz die Entwicklung des in dieser Diplomarbeit beschriebenen Moduls erheblich unterstützt hat.

EIDESTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which had been quoted either literally or by content from the used sourcees.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Geschichte des Robocup	1
1.2	Das Mostly Harmless RoboCup Team und die Middle-Size-League	3
1.3	Zielsetzung der Diplomarbeit	4
1.4	Vorgehensweise und Zeitplan	6
2	Theoretische Grundlagen	8
2.1	Der teilelastische Stoß	8
2.2	Der optimale Schuss	14
2.2.1	Regulative Auslegung	14
2.2.2	Physikalische Auslegung	15
2.3	Die kinematische Auslegung	19
2.3.1	Die gerade Fläche	20
2.3.2	Das Pendel	20
2.3.3	Das Parallelogramm	21
2.3.4	Die Schere	22
2.3.5	Die vollvariable Kette	22
2.3.6	Gegenüberstellung der kinematischen Ketten	23
2.4	Die Wahl des günstigsten Aktorprinzips	24
2.4.1	Die Ausgangssituation	25
2.4.2	Die mechanische Lösung	26
2.4.3	Lösung unter Verwendung eines Flywheels	27
2.4.4	Die elektronische Lösung	30
2.4.5	Die pneumatische Lösung	31
2.4.6	Bewertung und Entscheidung	34
2.5	Die geometrische Auslegung	36
2.5.1	Einsatz zweier Aktoren	36
2.5.2	Geometrie der Pendelmechanik	37
3	Praktische Grundlagen	39
3.1	Modulaspekte	39
3.2	Betrachtung der bestehenden Generation und der Mitbewerber	40
3.2.1	Mostly Harmless RoboCup Team	40
3.2.2	Tech United (Eindhoven, Niederlande)	43
3.2.3	Carpe Noctem (Kassel, Deutschland)	44
3.2.4	Cambada (Aviero, Portugal)	44
3.3	Versuche zur Schusstechnik	45
3.3.1	Mechanischer Aufbau des Kickprüfstands	45
3.3.2	Die Versuchsreihen im Detail	46
3.3.3	Auswertung der Versuche	51

3.4	Versuche zu den pneumatischen Aktoren	55
3.4.1	Die Tauchnotdruckluftflasche	56
3.4.2	Der Zwischentank	57
3.4.3	Der pneumatische Muskel	58
3.5	Spezielle Versuche zur Pendelgeometrie	59
4	Konstruktionsevolution	64
4.1	Randbedingungen	64
4.2	Übersicht der Baugruppen	67
4.3	Das Gehäuse	69
4.4	Die Ballführung	70
4.4.1	Vergleich der Federaktoren	71
4.4.2	Konzept der Gaszugfeder	73
4.4.3	Konzept der Feder	74
4.4.4	Konzept des Industriestoßdämpfers	74
4.4.5	Entscheidungsbegründung	75
4.5	Die Kupplung	75
4.5.1	Vergleich der Kupplungsaktoren	76
4.5.2	Der Ansatz des Universalpendels	78
4.5.3	Der Ansatz des Druckverriegelns	79
4.5.4	Der Ansatz des Schiebeelements	80
4.5.5	Entscheidungsbegründung	82
4.6	Der pneumatische Kreis	83
4.6.1	Die Aktoren	84
4.7	Die elektrische Steuerung	86
5	Verifizierung des Handlingmoduls	88
5.1	Vergleich der alten und neuen Generation	88
5.2	Vergleich der ermittelten Schussparabeln	89
5.3	Gewichtsanalyse	90
5.4	Kostenübersicht	90
5.5	Tests mit dem kompletten Modul	92
5.5.1	Ballannahme	92
5.5.2	Ballführung	93
5.5.3	Schussvorgang	94
6	Fazit	96
6.1	Hebel für Verbesserungen	96
6.2	Weitere Schritte	96
	Literaturverzeichnis	99
	Abbildungsverzeichnis	103
	Tabellenverzeichnis	106
	Anhang	A-1

1 Einleitung

1.1 Die Geschichte des RoboCup¹

Die Idee zur Etablierung einer Plattform zur Erforschung und Weiterentwicklung künstlicher Intelligenz auf universitärer Basis entstand 1992 in Japan.

Im Rahmen eines Workshops zum Thema „Grand Challenges in Artificial Intelligence“ wurden erste Ansätze und Prinzipien erarbeitet und beschlossen, die Sportart Fußball als Grundlage für die medienwirksame Bewerbung von Technologie und Entwicklung zu wählen.

Anfangs noch *Robot J League*, in Anspielung auf die japanische Fußballprofimeisterschaft, genannt wurden schon bald internationale Stimmen laut, den Bewerb auf eine weltweite Bühne zu stellen.

Als logischen nächsten Schritt entschied man, auf der *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, in Montreal 1995 das erste Weltmeisterschaftsturnier, den RoboCup, ins Leben zu rufen. Nachdem 1996 ein Pre-RoboCup Event im Rahmen der „International Conference on Intelligence Robotics and Systems“ in Osaka durchgeführt wurde, fand der erste offizielle RoboCup mit großen Erfolg im Jahr 1997 in Nagoya, Japan statt.

Um den Veranstaltungen einen einprägsamen Slogan zu verleihen setzte man sich ein ehrgeiziges Ziel:

„Im Jahr 2050 soll ein Team aus voll autonomen, menschlichen Robotern ein Fußballspiel unter den regulären FIFA Regeln gegen den dann amtierenden Weltmeister gewinnen.“

Seit damals hat sich das Konzept, eine Weltmeisterschaft der fußballspielenden Roboter jährlich auf immer wechselnden Kontinenten abzuhalten, durchgesetzt und im Jahr 2011 wird Istanbul die Ehre zu Teil, die mittlerweile fünfzehnte Auflage des Roboterfußballspektakels auszutragen.



Abbildung 1: Die RoboCup Weltmeisterschaften im Überblick

¹Vgl. [INTERNET - Geschichte, 2011]

Administriert wird der RoboCup von der eigens dafür ins Leben gerufenen RoboCup Federation, die, im Sinne einer Non Profit Organisation, die Planung und Durchführung der einzelnen RoboCup Veranstaltungen überwacht und als zentrales Organ die strategische Ausrichtung vorgibt.



Abbildung 2: Das Logo der RoboCup Federation³

Dabei gliedert sich die RoboCup Federation in ein Exekutiv-, Organisations- sowie Technisches Komitee und wird seit 2008 von der Amerikanerin Manuela Veloso angeführt. Diese Komitees sind mit aktuellen Mitgliedern der einzelnen Teilnehmeruniversitäten besetzt und daher stets am Puls der Zeit was die globale Entwicklung von künstlicher Intelligenz und Robotik angeht. Dabei reichen die Forschungsgebiete längst über telematische Probleme hinaus und der RoboCup wird immer mehr zur Plattform für die Erarbeitung mechanischer, elektronischer, logistischer oder visueller Problemstellungen der Robotik.

Um eben diesen individuellen Entwicklungen verschiedener Wissensgebiete Rechnung zu tragen wird der RoboCup außerdem in insgesamt neun, ständig adaptierten Ligen ausgetragen⁴:

- Soccer Simulation League
- Soccer Small Size League
- Soccer Standard Platform League
- Soccer Mid Size League
- Soccer Humanoid League Kid Size
- Soccer Humanoid League Teen Size
- Rescue League
- RoboCup @Home
- FESTO Logistics Competition

Hierbei liegt das Hauptaugenmerk der RoboCup Organisation in erster Linie darauf, eine Plattform für die Weiterentwicklung intelligenter Robotersysteme anzubieten (und diesem Umstand wird auch im Rahmen des parallel zu den Bewerben abgehaltenen Symposiums Rechnung getragen). In den letzten Jahren wird allerdings auch der medialen Präsenz und dem damit verbundenen Wecken eines breiten öffentlichen Interesses immer mehr Relevanz beigemessen.

Und so ist es sehr erfreulich, dass sich mittlerweile auch jenseits des traditionell sehr technikaffinen asiatischen Kontinents die Stadien der metallenen Fußballstars bis zum letzten Platz füllen und Jung wie Alt das mechanische Treiben lautstark begleiten.

³[INTERNET, Robocup Logo, 2011]

⁴Vgl. [INTERNET, Ligen des Robocup, 2011]

1.2 Das Mostly Harmless RoboCup Team und die Middle-Size-League⁵



Abbildung 3: Das Logo des Mostly Harmless RoboCup Teams⁶

Das Mostly Harmless RoboCup Team wurde im Jahr 2002 von Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald Steinbauer im Rahmen seiner Diplomarbeit und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Softwaretechnologie gegründet und nimmt seither an den RoboCup Wettbewerben der Soccer Middle-Size-League teil.

Das Team besteht zur Gänze aus Studenten unterschiedlichster Studienrichtungen, die in diesem interdisziplinären Umfeld gemeinsam an mechanischen und elektrischen Problemen sowie Aufgabenstellungen der Programmierung arbeiten.

Um diesen Gegebenheiten bestmöglich zu begegnen und zielgerichtet arbeiten zu können, ist das Team in fünf Module gegliedert, denen jeweils ein Moduleiter vorsteht. Diese Moduleiter werden wiederum direkt vom Teamleiter Harald Altinger koordiniert und sind verantwortlich für folgende Teilmodule:

- Mechanics (Moduleiter Norbert Rath)
- Electronics (Moduleiter Roland Angerbauer)
- Software (Moduleiter Dipl. Ing. Daniel Muschick)
- Vision (Moduleiter Thomas Joham)
- Marketing (Moduleiter Michael Kollar)

So konnten in den vergangenen Jahren beträchtliche Erfolge, wie zum Beispiel das Erreichen des neunten Platzes beim Heim RoboCup 2009 in Graz oder des fünften Platzes im Rahmen der German Open 2010 verbucht werden.

Bisher hat das Team zwei Generationen von Fußball Robotern, den so genannten Krikkits, entwickelt, konstruiert, gefertigt und programmiert. Allerdings ist die aktuelle Generation bereits seit über 5 Jahren im Turniereinsatz und daher im Kontext der ständig adaptierten Bestimmungen der Middle Size League weitgehend nicht mehr konkurrenzfähig.

Aus diesem Grund entstand Anfang des Jahres 2010 der Wunsch, eine neue, dritte Generation der autonomen Fußballroboter zu bauen.

Diese sollte nicht nur den aktuellen Regeln des Wettbewerbs genügen, sondern gleichzeitig auch als Grundlage für andere technische Einsatzgebiete, wie dem Bereich der industriellen Logistik, im Such- und Rettungsdienst sowie dem autonomen Service dienen.

⁵Vgl. [INTERNET - MostlyHarmless, 2011]

⁶[INTERNET, MostlyHarmless, 2011]

Das offizielle Regelwerk des Robocups⁷ orientiert sich zu großen Teilen an den Regeln des Fußball Weltverbandes FIFA (Federation International de Futbol Assiciation) und passt diese an die Gegebenheiten autonomer Roboterplattformen an.

Dabei gilt als zentrale Vorschrift die Aussage, dass der Roboter vor allem robust und sicher sein muss. Sicher bedeutet dabei, dass der Roboter weder andere Roboter beschädigen, noch eine Gefährdung anwesender Menschen darstellen darf.

Des Weiteren Beschreiben die Regularien nicht nur die Größe des Feldes, des Balles und der Tore, sondern legen auch genau fest, in welchem Rahmen sich die mechanische, elektronische und programmiertechnische Auslegung befinden darf.

1.3 Zielsetzung der Diplomarbeit

Im Moment verfügt das Mostly Harmless RoboCup Team über drei Feldspieler- und einen Tor-mannroboter, die sich seit dem Jahr 2005 in ständigem Einsatz, sei es bei Turnieren, Messen oder Universitätsveranstaltungen befinden. Da dies eine sehr lange Zeit in einer technischen Disziplin mit so enormen Entwicklungswachstum wie der Robotik ist und da das Regelwerk in absehbarer Zeit dahingehend verändert werden wird, dass bis zu sechs Roboter gleichzeitig am Spiel teilnehmen dürfen, entschied sich die Teamleitung im Jahr 2010 dazu, eine neue Generation der fußballspielenden Roboter zu bauen.

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, soll die neue Generation nicht nur für den Einsatz im Spielbetrieb des RoboCup konzipiert werden, sondern auch anderen Anwendungen eine möglichst einfach zu adaptierende Plattform bieten. Aus diesem Grund wurde der Ansatz gewählt, den neuen Roboter in einer modularen Bauweise auszuführen, bei der es möglich ist, das Handlingmodul durch beliebige andere Baugruppen, wie etwa Greifeinheiten, bekannt aus der technischen Logistik, zu ersetzen.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es nun, ein Handlingmodul (Ballhandling- und Schussmodul) zu entwickeln, das diesem modularen Gedanken folgt, lediglich mit Strom extern versorgt werden muss, leicht zu tauschen ist und in das Gesamtkonzept (Gewicht, Form und Funktion) der neuen Robotergeneration passt.

⁷Vgl. [ROBOCUP - Rules and Regulations, 2011]

Ausgehend von den Vorgaben des RoboCup Regelbuches und der Tatsache, dass verschiedene technische Lösungen in absehbarer Zukunft mit großer Wahrscheinlichkeit offiziell verboten werden könnten, führt auch der Umstand, dass das Einsatzgebiet der zu entwickelnden autonomen Plattform weiter gesteckt sein soll als nur auf RoboCup Turniere allein, zu folgenden Rahmenbedingungen die bei der Konzeption des Handlingmoduls für die neue Roboter-Generation zu beachten sind:

Vorgaben durch Robocup Regelwerk	
<i>Kategorie</i>	<i>Randbedingung</i>
Größe des Spielfelds	18m x 12m
Verwendeter Ball	FIFA Größe 5, Offizieller Spielball
Maximales Gewicht des Roboters	40kg
Minimaler Bauraum	300mm x 300mm x 400mm
Maximaler Bauraum	520mm x 520mm x 800mm
Anzahl der Schüsse pro Halbzeit	30
Farbe des Roboters	Schwarz (matt)
Umfassen des Balles	Nur bis zu einem Drittel des Umfangs möglich
Schüsse auf das gegnerische Tor	Nur aus der gegnerischen Spielhälfte
Ballführung	Keine aktive Ballführung
Vorgaben durch variables Einsatzgebiet	
<i>Kategorie</i>	<i>Randbedingung</i>
Einbau	Leichter Ein/Ausbau des Moduls
Schnittstellen	Leicht zu öffnende Schnittstellen

Tabelle 1: Randbedingungen der RoboCup Middle-Size-League⁸

⁸Vgl. [ROBOCUP, Rules and Regulations, 2011]

1.4 Vorgehensweise und Zeitplan

Nachfolgend soll der zeitliche Ablauf des im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit durchgeführten Projekts zur Entwicklung eines Handlingmoduls für eine autonome Roboterplattform dargestellt werden.

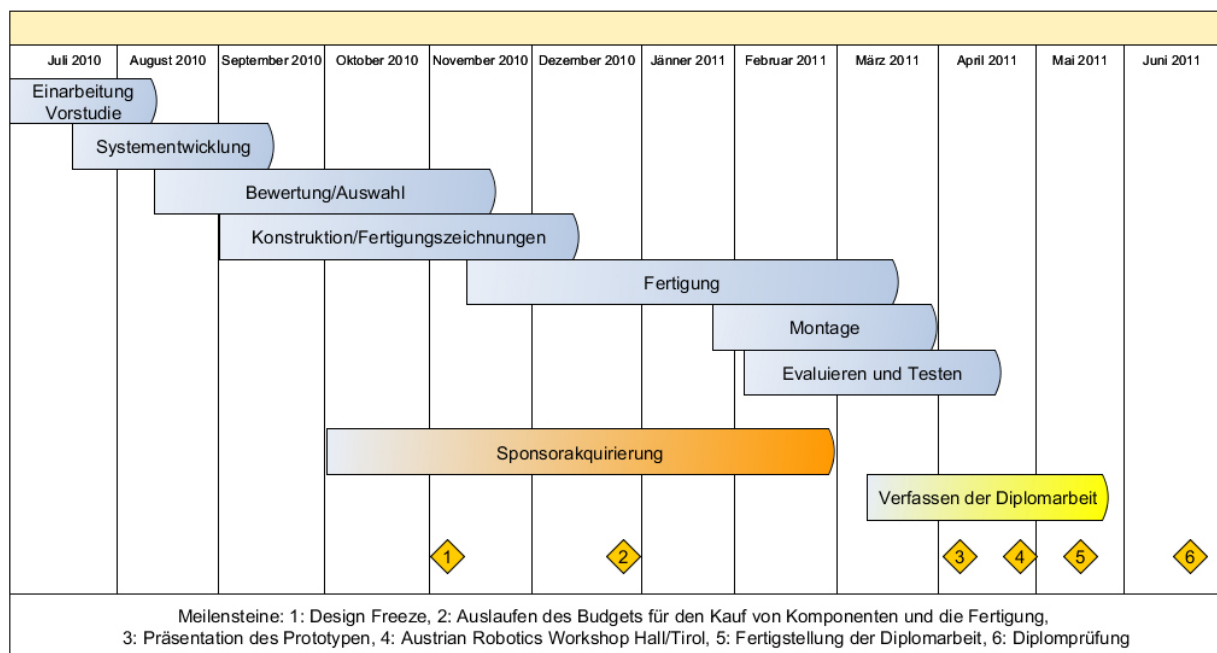


Abbildung 4: Der Zeitplan der Diplomarbeit

Der Anstoß zur Durchführung des oben genannten Projekts fiel im Frühjahr 2010, als sich das Mostly Harmless RoboCup Team dazu entschloss, eine neue Roboterplattform für den Einsatz in der Middle-Size Liga des RoboCups zu entwickeln.

Die Umsetzung eines so umfangreichen Projekts bedarf einer engen interdisziplinären Zusammenarbeit der verschiedenen Fachbereiche (Mechanik, Elektronik, Software, Vision und Marketing) des Mostly Harmless Teams. Um den daraus resultierenden Komplikationen entgegenzuwirken wird mittels regelmäßiger Teammeetings versucht, einen ständigen Informationsaustausch zu forcieren, um damit positiven Einfluss auf die Entwicklungszeit zu nehmen.

Aufbauend auf diesem organisatorischen Grundgerüst begann im Juni 2010 die Vorstudie für die Entwicklung des Handlingmoduls. Zuerst wurde die Dynamik des Stoßprozesses analysiert, optimale Flugkurven und daraus resultierende Schussparameter errechnet und verschiedene Grundprinzipien der Aktormechanik betrachtet.

Ausgehend von den daraus gewonnenen Erkenntnissen und dem vorgegebenen Bauraum des Moduls wurden erste Grundsysteme entwickelt und bewertet, um dann einzelne Varianten zu generieren und mit Hilfe eines morphologischen Kastens⁹ das zu bevorzugende Modell auszuwählen. Die so erarbeiteten Konzepte sind mit der Konstruktionssoftware NX 7.5 der Firma Siemens PLM Systems¹⁰ als 3D Modell im Detail auskonstruiert und die benötigten Fertigungszeichnungen abgeleitet worden.

Gleichzeitig gaben mehrere Prinzipversuche zu den einzelnen zugekauften Bauteilen Auskunft

⁹[HABERFELLNER, Projektmanagement, 2002, Seite 3-37]

¹⁰[http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/nx]

über deren Verhalten in einer möglichst realitätsnahen Umgebung. (siehe Kapitel 3). In den darauffolgenden drei Monaten wurde ein Großteil der benötigten Dreh-, Fräs und Biegeteile eigenhändig in den Werkstätten des Instituts für Maschinenelemente und des Instituts für Leichtbau gefertigt.

Parallel zum Fertigungsprozess wurde Wert darauf gelegt, fertiggestellte Baugruppen so schnell wie möglich zusammenzubauen und ersten Tests zu unterwerfen, um dem Ansatz des Simultaneous Engineering folgend, etwaige Verbesserungen noch rechtzeitig in den laufenden Fertigungsprozess zu integrieren. Die mechanischen Komponenten, die elektronischen Bauteile sowie die Verkabelung wurden rechtzeitig Anfang April 2011 fertiggestellt und so konnte das Modul im Rahmen des Middle-Size RoboCup Turniers der German Open in Magdeburg zum ersten Mal der Öffentlichkeit vorgestellt werden. Einzig die Feinabstimmung und einige Tests zur optimalen Auslegung des Schussvorgangs mussten in Zusammenarbeit mit dem Modul für Softwareengineering und Elektronik nach den German Open noch durchgeführt werden.

Außerdem sei an dieser Stelle erwähnt, dass neben dem Entwurf des in dieser Diplomarbeit beschriebenen Moduls, auch die Leitung des Marketingmoduls eine meiner wesentlichen Aufgaben im Team dargestellt hat. Vorrangiges Ziel dieses Moduls ist es, Partner für die Fertigung sowie Sponsoren für Zukaufkomponenten der neuen Robotergeneration zu finden und zu betreuen, um nicht nur die Herstellkosten gering zu halten, sondern auch einen Wissenstransfer mit den Studenten des Mostly Harmless Teams herzustellen. Zusätzlich wurden diverse Artikel sowie Paper über die neue Generation verfasst und in renommierten Firmenzeitungen veröffentlicht.¹¹

Abschließend galt es die zentrale Problematik der richtigen Aktorwahl für das Handlingmodul im Rahmen des Austrian Robotics Workshop an der UMIT Hall/Tirol in Form eines Papers und einer Präsentation vorzustellen.

¹¹[siehe Anhang]

2 Theoretische Grundlagen

Nachfolgend werden wichtige Kenngrößen und Vorgänge des Stoßprozesses erläutert und auf die Anwendung im Rahmen der RoboCup Middle-Size-League angewendet.

Einer theoretischen Erarbeitung des Stoßprozesses folgt die Ermittlung wichtiger Einflussgrößen beim Stoß, welche durch die vom Regelwerk vorgeschriebenen Randbedingungen ergänzt werden.

Des Weiteren werden verschiedene kinematische Ketten für den Einsatz als Schussmechanismen gegenübergestellt und in Bezug auf ihre Einsatzmöglichkeiten bewertet. Die dadurch gewonnen Erkenntnisse werden daraufhin durch Überlegungen zur optimalen Aktorwahl ergänzt und am Ende des Kapitels wird eine detaillierte Geometrieauslegung der Schussmechanismen erarbeitet.

2.1 Der teilelastische Stoß

Die theoretische Beschreibung des Stoßprozesses stellt seit jeher eine große Herausforderung dar. Vor allem die Einflüsse der Reibung zwischen den Stoßpartnern sowie die elastische Verformung aller am Stoß beteiligten Komponenten trägt erheblich zum Kraft-Zeitverlauf des Stoßvorgangs bei.¹²

Da es in der Middle-Size-League des RoboCups nicht möglich ist die Veränderung des Balles während eines Spieles vorherzusagen, da dies sehr stark vom Verlauf des Aufeinandertreffens und den durchgeführten Schussvorgängen abhängt, sei im Folgenden eine theoretische Betrachtung des Stoßprozesses dargelegt, in deren Rahmen die wesentlich beeinflussenden Faktoren aufgezeigt.

Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse sollen später durch Versuche zur Schusstechnik (Kapitel 3.3) auf die spezielle Problematik im RoboCup ausgedehnt werden.

Will man einen Stoßprozess beschreiben wird oft auf den Kraftverlauf während des Stoßvorgangs zurückgegriffen.

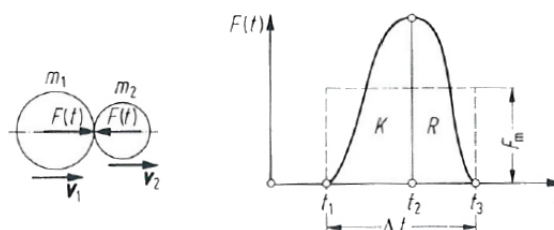


Abbildung 5: Kraftverlauf beim Stoß¹³

Die Literatur gibt dazu den in Abbildung 5 dargestellten Verlauf an. Dabei wird der Stoß in eine Kompressions-(K) und in eine Restitutionsphase (R) unterteilt, während denen zuerst Energie in das System eingebracht wird, um sie dann wieder abzugeben. Man kann sich den Stoßprozess also als Speicherung der aufgebrauchten kinetischer Energie in Form potentieller Energie im System vorstellen, die sodann wieder, in kinetische Energie umgewandelt, an das gestoßene Objekt

¹²[BERGER F., Das Gesetz des Kraftverlaufs beim Stoß, 1924, Seite 50ff]

¹³[DUBBEL, 2007, Kapitel 3.6]

abgegeben wird. Das Prinzip folgt also grob einem Feder-Masse-System wie es in Abbildung 6 dargestellt ist.

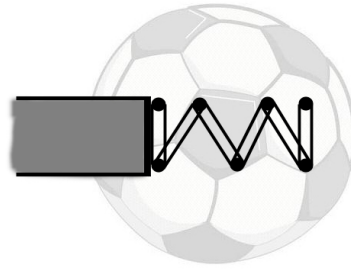


Abbildung 6: Der Ball als Feder Masse System

Daraus lässt sich der bei der Kollision übertragene Impuls als

$$P = \int F \delta t$$

formulieren.

Doch die Ermittlung dieses Integrals birgt große Schwierigkeiten. Zuerst muss die Kraft mit Hilfe eines Beschleunigungssensors und der bewegten Masse bestimmt werden, wobei dieser Sensor im Massenschwerpunkt des Balles plziert sein müsste, um ein realitätsnahes Ergebnis zu liefern. Dies ist aber nicht nur auf Grund der aufwendigen Fertigung eines solchen Balles nur sehr schwer möglich, es muss auch bedacht werden, dass sich ein herkömmlicher Fußball, wie er in der Middle Size zum Einsatz kommt, erheblich unter den auftretenden Kräften verformt und dadurch auch die Lage des Schwerpunkts nicht als konstant angesehen werden kann. Um trotzdem ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten muss der Beschleunigungssensor also möglichst nahe am gestoßenen Objekt angebracht werden, ohne durch den Stoßvorgang selbst beschädigt zu werden.

Dieser Umstand bewirkt aber ein weiteres Problem. Nun kommt es zu einem Hintereinanderschalten aller Federsteifigkeiten und Dämpfungseinflüsse der Bauteile zwischen Ball und Messpunkt. Dies kann zu erheblichen, hochfrequenten Schwingungen führen und das Ergebnis beträchtlich beeinflussen.

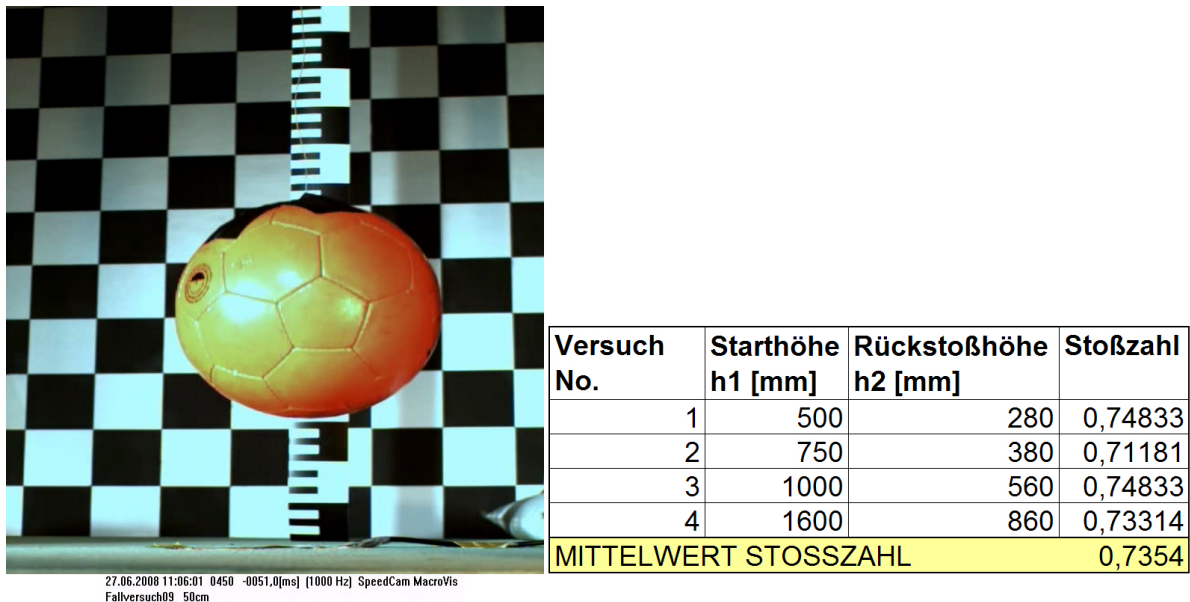
Aus diesem Grund ist die Einführung der so genannten Stoßzahl von Vorteil. Sie beinhaltet sämtliche verlustzeugende Einflüsse beim Stoß und macht es möglich, die Impulsgleichung in der Form

$$P_{vorher} = e \cdot m \cdot v_{vorher} = m \cdot v_{nachher} = P_{nachher}$$

anzugeben.

Diese Beschreibung hat nun den Vorteil, dass die Massen bekannt sind und die Geschwindigkeit eine leicht zu messende Größe darstellt.

Die Ermittlung der Stoßzahl kann dabei auf verschiedene Arten geschehen. Im Fallversuch wird der Ball mit dem vom Reglement vorgegebenen Innendruck beaufschlagt und aus verschiedenen, definierten Höhen fallen gelassen. Mit Hilfe einer High Speed Shutter Kamera wird die Rückstoßhöhe gemessen und aus dem Verhältnis von Rückstoßhöhe zu Ausgangshöhe eine mittlere Stoßzahl errechnet.

Abbildung 7: Der Fallversuch¹⁴

Die Versuche ergeben, unter Verwendung der potentiellen Energiegleichung, eine mittlere Stoßzahl von $e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} = 0,74$.

Welche wesentlichen Einflüsse bei der Modellierung des Stoßprozesses zu beachten sind, sei im Folgenden anhand eines einfachen Versuchs gezeigt. Dabei wird ein dem Reglement des RoboCups entsprechender Ball (Masse 0.45kg, Durchmesser 220mm, Innendruck 2,2bar) mit einer ebenen Aluminiumplatte und einer Gummispitze gestoßen und dabei sowohl der Aktordruck, als auch die Entfernung der Stoßpartner vor dem Kontakt variiert.

Um die verschiedenen Einflüsse auf den Stoßprozess bewertbar zu machen muss zuerst definiert werden welche Eigenschaften ein vorteilhafter Stoßprozess hat.

Wie bereits erwähnt, soll beim Stoß möglichst viel Energie vom stoßenden Element auf das gestoßene übertragen werden. Dies spiegelt sich in einer Stoßzahl die nahe 1 liegt wider.

Des Weiteren sollen harte Endanschläge des Aktors nach erfolgtem Stoß vermieden werden, da diese meist eine größere Belastung für die betroffenen Bauteile darstellen, als der Stoßvorgang selbst.

Ein nicht zu unterschätzendes Problem stellen hochfrequente Schwingungen dar. Diese können sehr hohe Amplituden erreichen (siehe Abbildung 9), und dadurch zum Ausfall von Baugruppenfunktionen führen auf die sie übertragen werden.

Zuletzt soll der Stoßvorgang kontinuierlich verlaufen, um eine gute Reproduzierbarkeit zu erreichen. Dies bedeutet, dass Effekte wie eine doppelte Berührung des Aktors mit dem Ball innerhalb eines Stoßvorgangs vermieden werden müssen.

Basierend auf den eben genannten Randbedingungen für den optimalen Stoßprozess werden nun die dafür maßgebenden Einflüsse beschrieben.

Um möglichst viel Energie beim Stoß zu übertragen ist eine lange Berührzeit zwischen den Stoßpartnern nötig. Dies kann auf verschiedene Arten erreicht werden. Zum einen kann der Ball aus der Ruhelage und durch ständige Berührung mit dem Stoßelement mitbeschleunigt werden. Dies


¹⁴[Mostly Harmless RoboCup Team, Der Fallversuch, 2008]

führt allerdings sehr leicht zu einem unkontrollierten Stoßprozess, da der Ball durch seine Verformung immer wieder den Kontakt zum Stoßelement verliert und anstatt einer kontinuierlichen Beschleunigung mehrere hintereinander erfolgende Stoßprozesse zu beobachten sind.

Zum anderen kann die Deformation des Balles genutzt werden, um die Dauer des Stoßvorgangs zu erhöhen. Dies kann durch ein Stoßelement geringen Querschnitts erreicht werden, da es tief in den Ball eindringen kann, der Ball sich dementsprechend verformt und mehr Energie aufnimmt.

Der große Nachteil dieser Konstruktion ist der Umstand, dass auf Grund der nicht idealen Gestalt des Balles nicht garantiert werden kann, dass der Ball immer zentrisch getroffen wird. Eine Exzentrizität wiederum führt zu einer Induzierung von Querkräften und diese erzeugen Schwingungen mit großen Amplituden. Dieser Effekt kann mit der freien Biegeschwingung eines Stabes verglichen werden.¹⁵

Tabelle XI, 2

$\omega = \gamma^2 \sqrt{\frac{E J}{\rho F}}$	Frequenzgleichung	n	$\gamma_n l$
Ein Ende eingespannt, das andere frei	 $1 + \cos \gamma l \cosh \gamma l = 0$	1	1,875
		2	4,694
		3	7,855
		n	$(2n - 1) \pi/2$

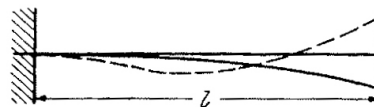


Abb. XI, 11

Abbildung 8: Auszug aus Tabelle zur Biegeschwingung¹⁶

Der Fall einer pulsierenden Kraft auf den Biegebalken soll an dieser Stelle nicht behandelt werden. Ausgehend von den unter der Annahme kurzzeitiger Störeinflüsse und über die Biegelinie mit Hilfe des Bernoullischen Ansatzes hergeleiteten Werte aus Tabelle 8 kann man unter Verwendung der Formel $\omega = \gamma^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A}}$ die Eigenfrequenzen des Systems berechnen und anschließend mit den Messergebnissen aus den Schussversuchen verifizieren. (Für die detaillierte Berechnung sei an dieser Stelle auf Kapitel 3.3.2 auf Seite 46 verwiesen)

Ein weiteres Problem stellt der harte Endanschlag des Stoßelements nach dem Stoßvorgang dar. Diesem Effekt kann jedoch leicht mit Hilfe einer Endlagendämpfung entgegengewirkt werden. Es muss jedoch bei der Auslegung des Stoßelements darauf geachtet werden, dass nach dem Stoß noch genügend Verfahrweg des Stoßelements vorhanden ist, um eine Dämpfung zu realisieren. Zuletzt ist es von äußerster Wichtigkeit, den Stoßvorgang so gut wie möglich reproduzierbar zu gestalten. Liegt ein nicht kontinuierlicher Stoßprozess vor, kommt es zu mehreren Einzelkontakten zwischen Stoßelement und Ball, was bedingt durch die nicht konstanten Einflüsse der Reibung beziehungsweise der Balldeformation zu immer anderen Stoßverläufen führt.

Dies kann verhindert werden, indem die Aktorkraft möglichst hoch gewählt wird. Dadurch wird der

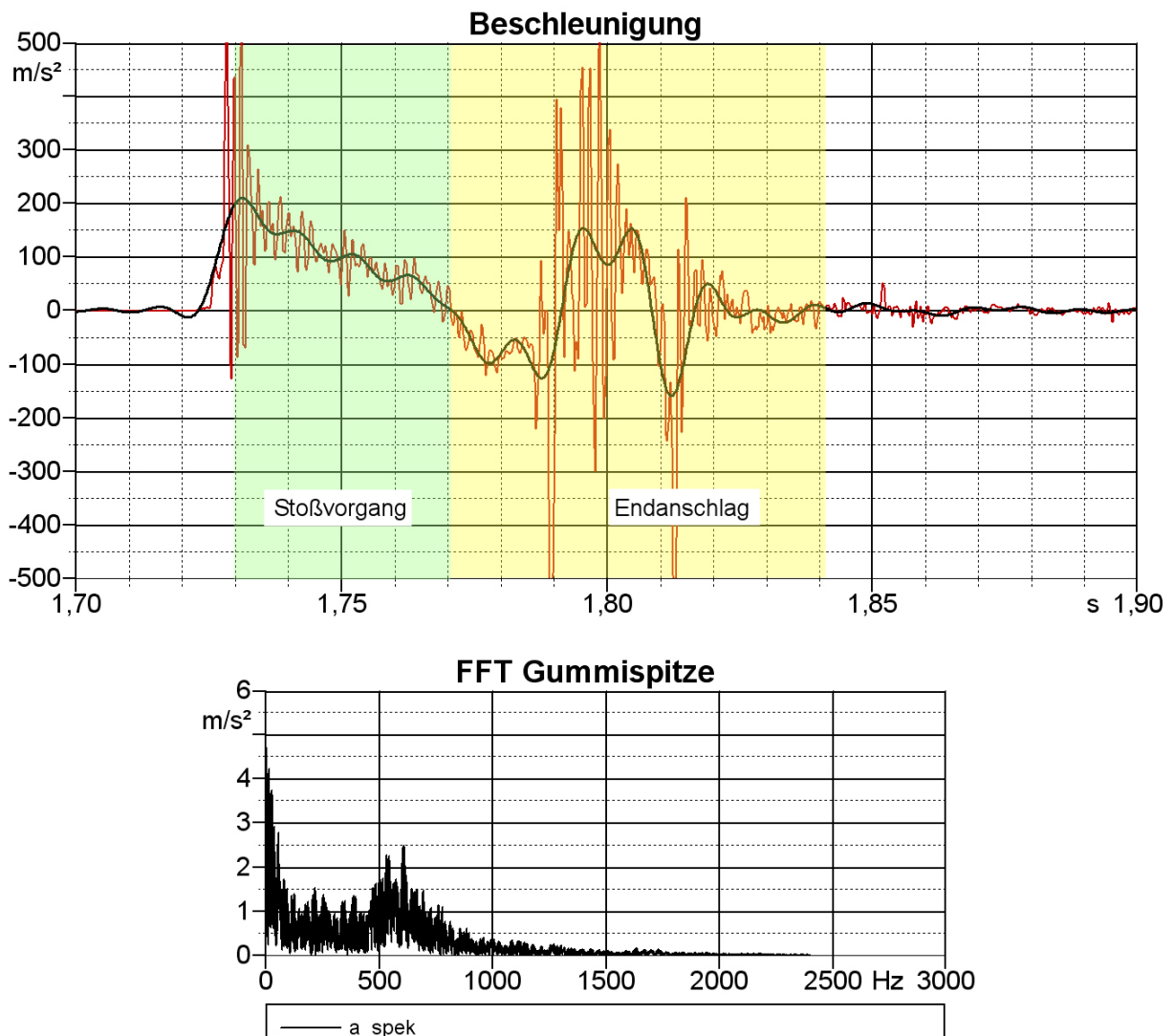
¹⁵[PARKUS, Mechanik der festen Körper, 2005, Seite 197ff

¹⁶[PARKUS, Mechanik der festen Körper, 2005, Seite 197ff]

Ball mehr verformt und auch ein Kraftverlust des Stoßelements (wie es zum Beispiel bei pneumatischen Aktoren durch den Druckabfall in der Versorgungsleitung der Fall ist) führt nicht sofort zu einem Berührungsverlust.

Basierend auf diesen theoretischen Überlegungen zeigen die Abbildungen 9 und 10 den Beschleunigungsverlauf zweier Stoßvorgänge. Abbildung 9 stellt die gemessene Beschleunigung einer Versuchsreihe dar, bei der eine Gummispitze als Stoßelement zum Einsatz kommt.

Als Vergleich dient ein Versuchsaufbau, der eine ebene Platte als Stoßelement nutzt.

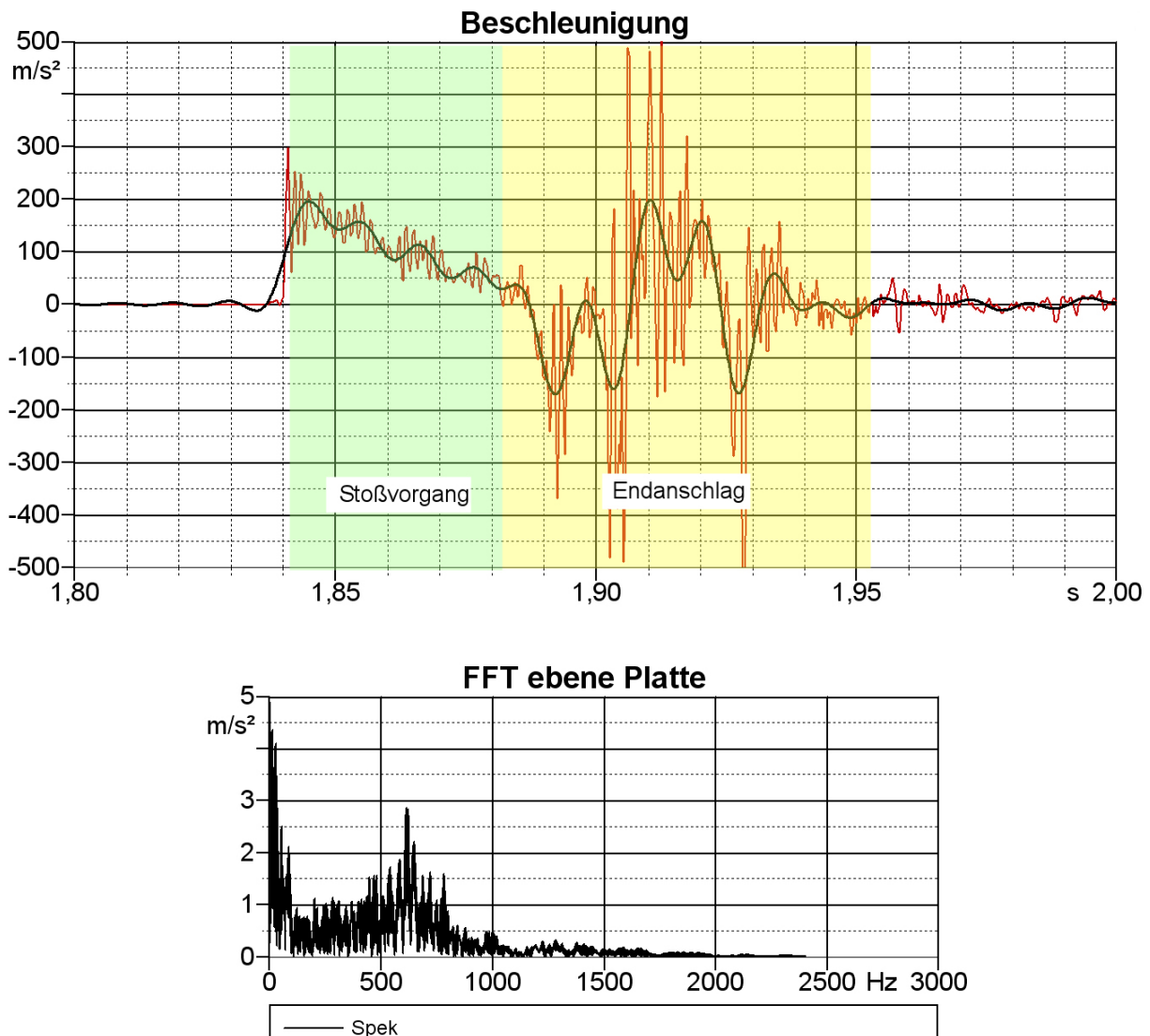


Versuch 1.1-E6

Der Ball liegt in seiner Ausgangslage 120mm vom Stoßelement entfernt der Zylinder wird mit 6bar Arbeitsdruck beaufschlagt.

Als Stoßelement kommt eine Gummispitze zum Einsatz. Der Aktor ist ein Pneumatikzylinder.

Abbildung 9: Beschleunigung und FFT des Stoßvorgangs mit Gummispitze



Versuch 1.2-E6

Der Ball liegt in seiner Ausgangslage 120mm vom Stoßelement entfernt der Zylinder wird mit 6bar Arbeitsdruck beaufschlagt.

Als Stoßelement kommt eine ebene Aluminiumplatte zum Einsatz. Der Aktor ist ein Pneumatikzylinder.

Abbildung 10: Beschleunigung und FFT des Stoßvorgangs mit ebener Platte

Die Beschleunigungsdiagramme zeigen jeweils den aufgezeichneten Verlauf der Beschleunigung. Der genaue Versuchsaufbau wird in Kapitel 3.3 beschrieben.

Darunter wird die jeweilige Lineare Fast Fourier Transformation zur Ermittlung des Frequenzspektrums der Schwingungen dargestellt. Man erkennt, dass die relevanten Schwingungen in einem Bereich von unter 100Hertz auftreten. Höherfrequente Anteile werden als nicht quantifizierbare Einflüsse durch einen Bandpass (Tiefpassfilter, schwarze Kurve, 100Hz Filterfrequenz) gefiltert.

Im Fall des Stoßes mit der Gummispitze erkennt man deutlich die durch die Querbelastung verursachten hochamplitudigen Schwingungen sowie die hohe Belastung des ungebremsten Aufpralls des Stoßelements am Ende des Vorgangs.

Zusammengefasst werden die Eigenschaften des optimalen Stoßvorgangs und deren Beeinflus-

sungsmöglichkeiten in Tabelle 2.

Einflüsse auf den optimalen Schussvorgang				
Eigenschaft	hohe Energieübertragung	keine harten Endanschläge	hochfrequente Schwingungen	Kontinuität des Stoßvorgangs
Beeinflussung	lange Berührzeit	genug Resthub nach Stoßvorgang für Endlagendämpfung	Vermeidung von Querkräften, keine langen Kragarme	Aktorkraft hoch genug

Tabelle 2: Einflüsse auf den optimalen Schussvorgang

Abschließend kann angemerkt werden, dass die theoretische Ermittlung des Stoßprozesses wohl am ehesten mit Hilfe einer aufwendigen Finiten Elemente Methode möglich ist.

Allerdings ist hier vor allem die Ermittlung der Reibkoeffizienten als größtes Hindernis anzusehen. Aus diesem Grund werden die in diesem Kapitel theoretisch erarbeiteten Einflussfaktoren durch praktische Versuchsreihen verifiziert (siehe Kapitel 3, Seite 39).

2.2 Der optimale Schuss

Dieses Kapitel beschreibt die physikalischen sowie regulativen Grundlagen zur Bestimmung des optimalen Schusses auf einem Middle-Size Feld.

2.2.1 Regulative Auslegung

Da das Bestreben der RoboCup Federation darin liegt, die Entwicklung autonomer Roboter stetig voranzutreiben muss auch das Regelwerk der einzelnen Bewerbe, und somit auch der Middle Size, ständig an neue Herausforderungen und Entwicklungssprünge angepasst werden.

Wurden die ersten Bewerbe zum Beispiel noch auf einem Feld mit Banden und einem orange-farbenen Ball zur einfacheren Detektierung abgehalten, so gleicht das Middle-Size Feld heute bereits in vielen Punkten einem regulären Fußballfeld.

Die offiziellen Turnierabmessungen des Spielfelds betragen dabei 18m mal 12m. Als Unterlage dient ein Kunstrasenteppich und natürlich ist auch die Größe der Tore genau reglementiert.

Außerdem ist auch die Anzahl der Roboter vorgegeben und wurde gerade für die Saison 2011 von fünf Feldspielern (inklusive Tormann) auf sechs Feldspieler (inklusive Tormann) erweitert.

Zusätzlich gilt ab sofort auch die Einschränkung, dass es vor dem Schuss auf das gegnerische Tor nicht nur zu einem Pass innerhalb der eigenen Mannschaft kommen muss, der Torschuss darf auch nur aus der gegnerischen Hälfte heraus abgegeben werden.

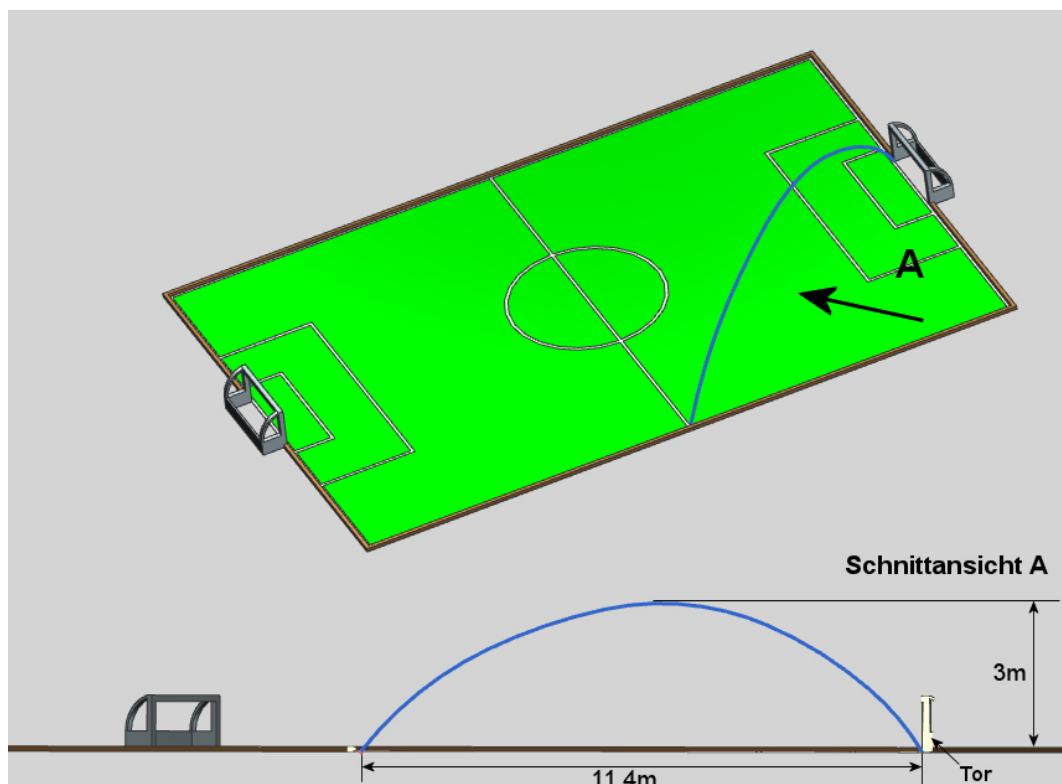


Abbildung 11: Der maximal erlaubte Schuss

Abbildung 11 zeigt die Schussparabel für den größten Abstand zwischen Roboter und Tor, der laut Reglement erlaubt ist.

Dabei ergibt sich eine maximal benötigte Schussweite von 11,4m.

2.2.2 Physikalische Auslegung

Aus diesen regulativen Bedingungen kann man nun eine erste Abschätzung für die ausschlaggebenden Parameter des Schusses ableiten. Dabei sollen der hohe und der flache Schuss getrennt betrachtet werden.

Davor ist aber anzumerken, dass die zweite, aktuelle, Generation der Krikkit Roboter über eine Pendelkonstruktion verfügt, die es nicht erlaubt zwei verschiedene Flugparabeln zu realisieren. Abbildung 12 zeigt die High Speed Kameraaufnahme einer Vorstudie, die im Frühjahr 2008 durchgeführt wurde. Dabei ist zu erkennen, dass die aktuell eingesetzte Pendelgeometrie einen geraden Schuss nicht ermöglicht. Diese Problematik wird aktuell so umgangen, dass die Aktorkraft variiert wird und so eine höhere beziehungsweise niedrigere Schussparabel erzeugt wird. Allerdings ist die Bandbreite der so erreichbaren Flugkurven weder für den flachen Pass noch den hohen Schuss zufriedenstellend.

Abbildung 12: High Speed Aufnahmen mit der 2. Krikkit Generation¹⁷

Physik des hohen Schusses

Dabei wird für die Berechnung der Flugkurve der Luftwiderstand nach der Formel

$$k = 0.5 * c_w * \rho_{Luft} * \frac{A_{Ball}}{m_{Ball}}$$

berücksichtigt, was wie in Abbildung 13 dargestellt, zu einer Schussweitenverminderung von 20% führt. Dieser Verlustanteil steigt linear mit der Anfangsgeschwindigkeit V_0 an.

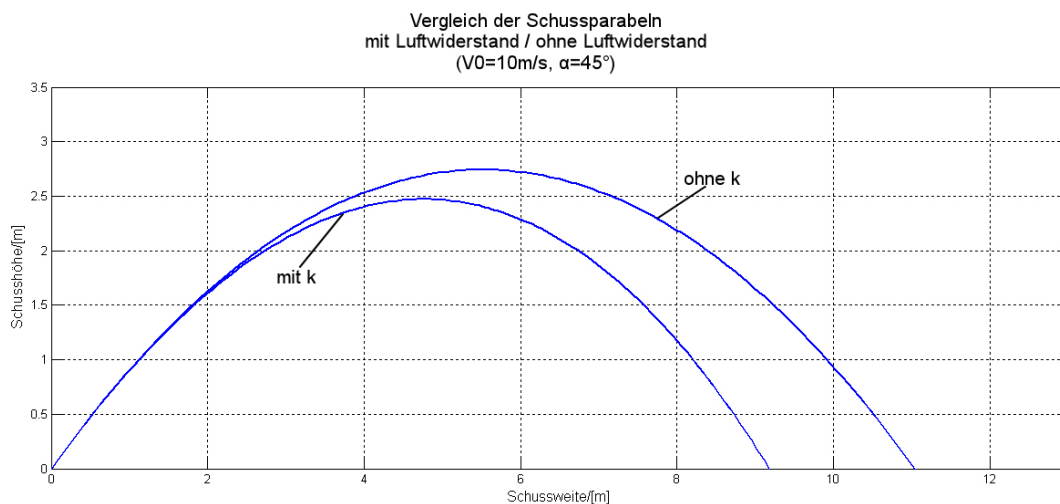


Abbildung 13: Vergleich der Schussparabeln unter Berücksichtigung des Luftwiderstands

c_w 0,47

c_w beschreibt den Widerstandsbeiwert und wird aus Gründen der einfacheren Berechnung für die Geometrie einer perfekt runden Kugel aus der Literatur entnommen. Er hängt von der Körperform und -lage, der Dichte und Viskosität des Fluids sowie der Strömungsgeschwindigkeit ab.¹⁸ Im Fall

¹⁷[MOSTLY HARMLESS, HS Aufnahmen mit der 2. Krikkit Generation, 2008]

¹⁸[CHRISTEN: Praxiswissen der chemischen Verfahrenstechnik, 2004, Seite 357]

des Fußballs ist die Vereinfachung der Ballgeometrie zu einer idealen Kugel durchaus zulässig, da das Reglement der Middle Size Liga einen offiziellen FIFA Ball der Größe 5, der alle Inspektionskriterien erfüllt, vorschreibt.¹⁹ Allerdings ist anzumerken, dass sich die Geometrie des Balles im Spielbetrieb durch die harten Stöße der Schussvorgänge leicht verändern kann. Dieser Effekt unterliegt aber einer großen Streuung, da er stark vom Spielverlauf abhängig ist und wird daher nicht näher behandelt.

Basierend auf diesen Grundüberlegungen sollen nun mittels Parametervariationen die optimale Abschussgeschwindigkeit und der optimale Abschusswinkel ermittelt werden. Dabei wird angenommen, dass es möglich sein muss einen gegnerischen Roboter, der sich in 1,5m Entfernung befindet, zu überheben. Befindet sich der Gegner näher, muss er mittels Passspiel überwunden werden.

Zuerst sollen bei einer vorgegebenen Abschussgeschwindigkeit von $10 \frac{m}{s}$ verschiedene Abschusswinkel verglichen werden.

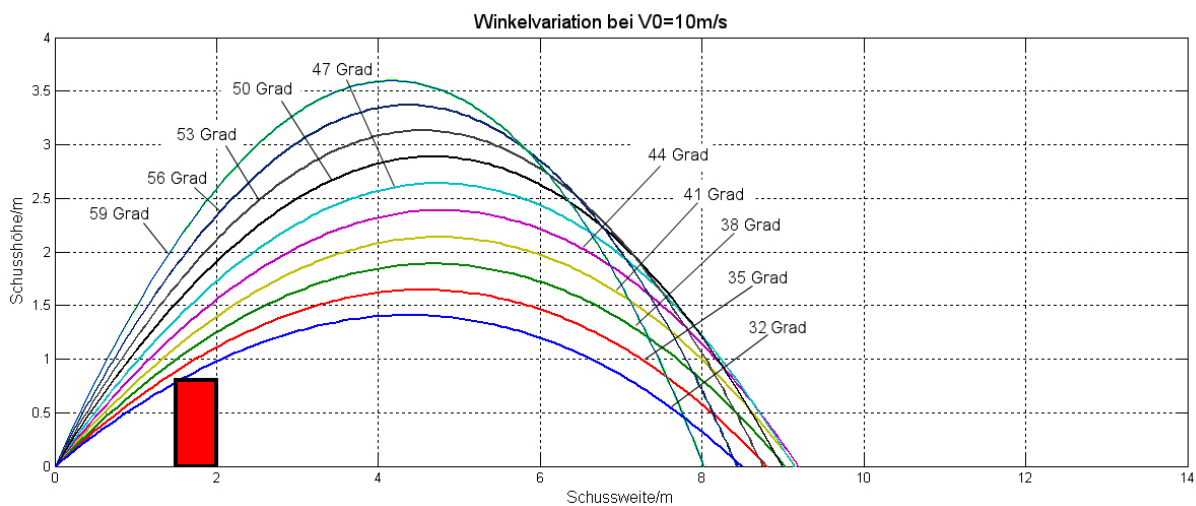


Abbildung 14: Variation des Winkels bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 10m/s

Abbildung 15 zeigt verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten bei einem Abschusswinkel von 45° .

¹⁹[INTERNET, FIFA Ballrichtlinien, STAND: 29.4.2011, 18:59]

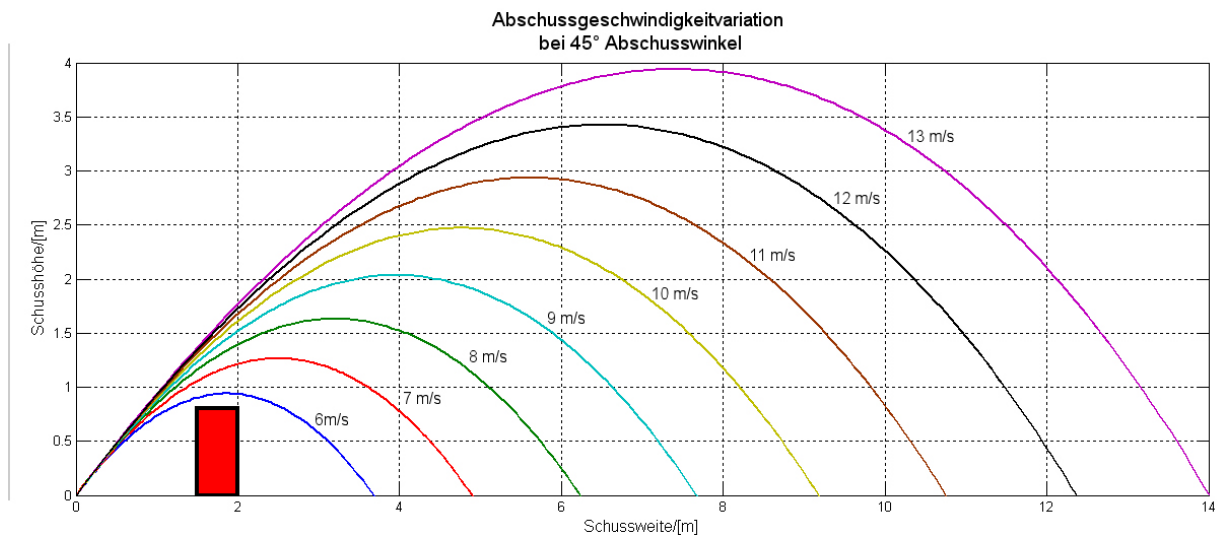


Abbildung 15: Variation der Anfangsgeschwindigkeit bei einem Abschswinkel von 45°

Ein Abschswinkel zwischen 41° und 45° sowie eine Abschswgeschwindigkeit von $12 \frac{m}{s}$ ist also als optimal anzusehen, um die vorgegebenen Randbedingungen der Schussweite und Höhe zu erfüllen. Bei höherer Anfangsgeschwindigkeit kann allerdings auch ein kleinerer Winkel gewählt werden, wie folgende Abbildung zeigt, in der verschiedene Kombinationen aus Abschswgeschwindigkeit und Abschswwinkel verglichen werden:

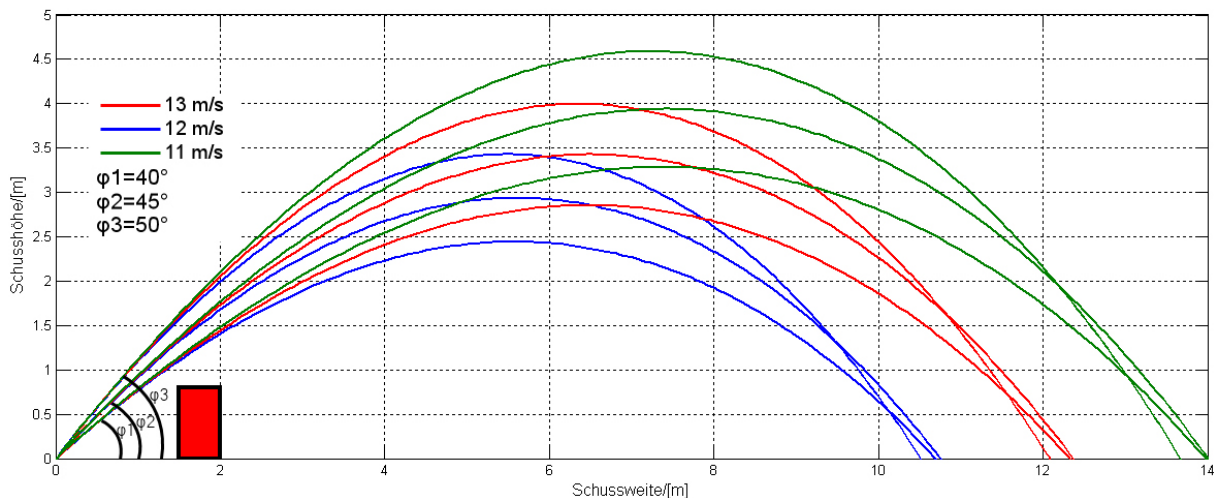


Abbildung 16: Darstellung verschiedener Parameterkombinationen

Abbildung 16 zeigt, dass bei einer Abschswgeschwindigkeit von $12 \frac{m}{s}$ ein Abschswwinkel von über 35° bereits ausreichend ist, um alle Randbedingungen zu erfüllen. Damit sind die drei Haupteinflussfaktoren Abschswgeschwindigkeit, Abschswwinkel und Luftwiderstand ermittelt und sollen beim Auslegen der mechanischen Konstruktion als Berechnungsgrundlagen dienen.

Physik des flachen Schusses

Für den flachen Schuss gilt es, die Reibungseinflüsse zwischen Ball und Untergrund zu beachten. Dazu ist es notwendig, den Haft-, Gleit- beziehungsweise Rollreibungswiderstand zwischen Ball

und Rasenteppich zu ermitteln.

Der Haftreibungskoeffizient μ_{haft} kann dabei mittels eines einfachen Versuchs bestimmt werden. Dabei wird eine schräge Platte mit dem vorgeschriebenen Turnierkunstrasen des RoboCups gespannt. Dazu werden drei Bälle miteinander so verbunden, dass sie in drei Punkten auf dieser Platte aufliegen. Abschließend wird die Platte angehoben und der Winkel bei dem ein Rutschen der Bälle einsetzt gemessen. Daraus kann wiederum mit der Formel

$$\mu_{haft} = \tan\varphi$$

der Haftreibungskoeffizient ermittelt werden. Für den im RoboCup verwendeten offiziellen FIFA Fußball der Größe 5 kann so ein Haftreibungskoeffizient μ_{haft} von 0,42 ermittelt werden.

Komplizierter wird die Quantifizierung der Roll- und Gleitreibung da man in verschiedenen, mit einer High Speed Kamera durchgeführten, Versuchen zum ebenen Schuss sehr gut erkennt, dass kein Zusammenhang zwischen Rotation und Translation des Balles besteht, da dieser auf Grund der nicht erfassbaren Verformungen infolge des Spielbetriebs, immer wieder von der Rasenunterlage abhebt.

Es muss an dieser Stelle also festgestellt werden, dass es nicht möglich ist, die Reibungseinflüsse vollständig zu quantifizieren. Eine Verifizierung des geraden Schusses kann also nur mittels Versuchsreihen durchgeführt werden. Diese werden in Kapitel 3.3.2 auf Seite 46ff beschrieben.

2.3 Die kinematische Auslegung

Nachdem die Parameter für einen optimalen Schuss nun ermittelt sind, werden im nächsten Schritt verschiedene kinematische Ketten verglichen, um eine möglichst effiziente Kraft- beziehungsweise Geschwindigkeitsübersetzung vom Aktor auf den Ball zu ermöglichen.

Dabei wird methodisch so vorgegangen, dass verschiedene Ausführungen mit der gleichen Aktorkraft (500 Newton/Aktor) beaufschlagt werden, die durch die Geometrie bestimmte, resultierende Kraft sowie Geschwindigkeit auf den Ball in Abhängigkeit eines Auslenkwinkels bestimmt wird und abschließend Randparameter, wie der benötigte Bauraum oder die auftretende Lagerreibung verglichen werden.

Dabei werden für die Kalkulation einige Vereinfachungen getroffen. Zuerst sind alle Stäbe als masselos und der Ball als perfekt runde Kugel zu betrachten. Dies führt zu einer Punktberührung zwischen Aktorelement und Ball, da die Berechnung weiters nur in der Ebene durchgeführt wird. Ein Anstellen der Aktorgeometrie um einen hohen Schuss zu ermöglichen würde keine Veränderung auf die Übersetzung haben, da das Gewicht der Stäbe ja vernachlässigt wird.

Zusätzlich wirkt die Aktorkraft immer auf die gleiche Weise auf das kinematische System, die Aktorhebellängen und der Aktorweg sind also für alle Ansätze ident und es wird angenommen, dass im letzten Punkt der Parametervariation ein rechter Winkel zwischen Hebelarm und Aktorkraft besteht. Dieser Umstand führt zu einer optimalen Krafteinleitung im Endbereich der Parametervariation.

Außerdem ist die Wirkgerade der Aktorkraft einem realen pneumatischen Zylinder nachempfunden, der zwischen Gelenksköpfen gelagert, und zwischen einem Fixpunkt und dem Hebelarm der kinematischen Kette montiert ist, was zu einer Abhängigkeit vom Auslenkungswinkel führt. Ab-

schließlich werden auch Reibungseinflüsse für die Berechnung nicht berücksichtigt.

Dargestellt werden sowohl die Lagerkräfte als auch die Reaktionskraft auf den Ball, in Abhängigkeit der Variationskonstante (Winkel φ beziehungsweise Weg l).

Zusätzlich wird die Übersetzung der Aktorgeschwindigkeiten durch die einzelnen kinematischen Ketten in Abbildung 22 dargestellt.

Es ist klar zu erkennen, dass sich der Kraftverlauf zum Geschwindigkeitsverlauf gegengleich verhält.

2.3.1 Die gerade Fläche

Die gerade Fläche ist bereits in Kapitel 2.1 genau untersucht worden. Die Aktorkraft wirkt direkt auf den Ball und es müssen keine zusätzlichen Lagerbelastungen berücksichtigt werden, was zu einer hohen Ausfallssicherheit und geringem Verschleiß führt.

Für den hier vorgenommenen Vergleich wird die Kraft des pneumatischen Aktors außerdem als konstant angenommen. Die Geschwindigkeit folgt der in Abbildung 29 auf Seite 34 gezeigten Kurve. Auf Grund des linearen Verlaufs kann also eine konstante Beschleunigung angenommen werden.

Auch die Form des Stößels und die dadurch bedingten Effekte beim Stoßprozess werden hier nicht näher betrachtet. Hierfür wird auf Kapitel 3.3 Seite 45 verwiesen.

2.3.2 Das Pendel

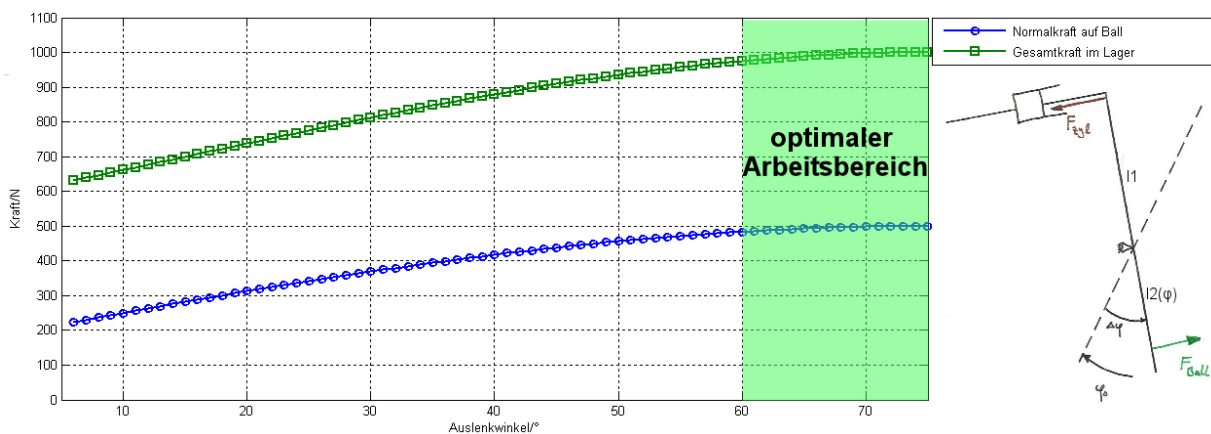


Abbildung 17: Die Geometrie des Pendels

Die Pendelausführung basiert auf der Ausnutzung des Hebelgesetzes. Über die jeweiligen Längen l_1 und l_2 kann sowohl die resultierende Kraft, als auch Geschwindigkeit auf den Ball moduliert werden. Dabei verhalten sich Kraft und Geschwindigkeit, wie eingangs beschrieben, gegengleich. Man erhält also eine höhere Kraft nur durch das in Kauf nehmen einer niedrigeren Geschwindigkeit.

Die Längen l_1 und l_2 sind hier, wie auch im Weiteren, gleich lang gewählt, wodurch man erkennt, dass die Normalkraft mit dem Winkel steigt und im Endwinkel (per Definition) am größten ist, da hier die Aktorkraft normal auf das Pendel steht.

Ein weiterer Effekt, der an dieser Stelle erwähnt werden muss, ist die reibungsbedingte Verschiebung des Kraftangriffspunktes zwischen Pendel und Ball. Durch die Drehbewegung des Pendels und das Eigengewicht des Balles wirkt sie im realen Fall gegen die Ballbewegung (also in Richtung des Lagers) und sorgt so für eine Rotationsinduktion auf den Ball. Das Lager A muss durch die idente Länge der Biegebalken zu beiden Seiten die Summe aus Aktorkraft und Kontaktkraft zum Ball aufnehmen, ist hier also sehr hoch belastet.

Der Vorteil des Pendels als kinematische Übersetzung liegt in der einfachen mechanischen Konstruktion, was zu einem kleinen Bauraum führt und lediglich den Einsatz eines einzigen Lagers erfordert.

Der degressive Verlauf der Kontaktkraft zum Ball ergibt sich aus dem Umstand, dass die Wirklinie der Aktorkraft vom Auslenkwinkel abhängig ist.

2.3.3 Das Parallelogramm

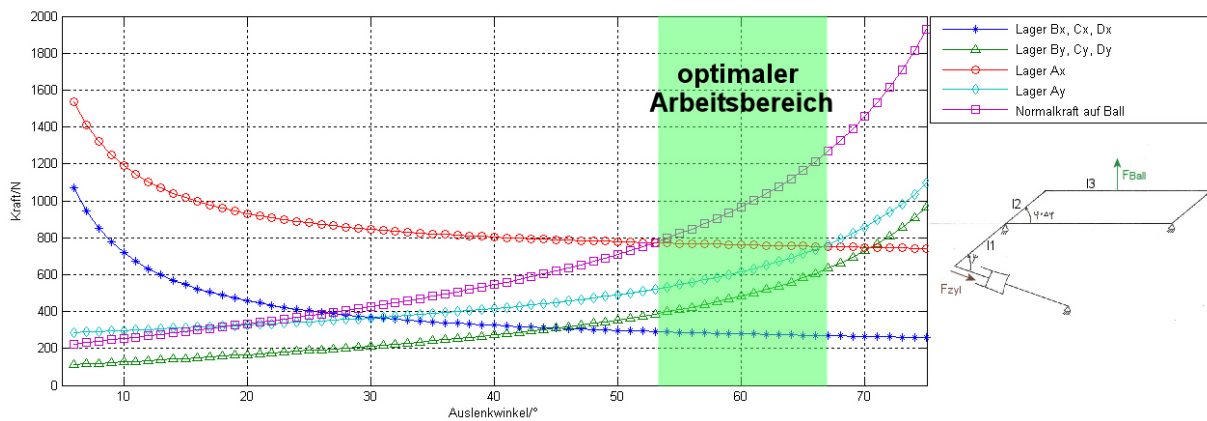


Abbildung 18: Die Geometrie des Parallelogramms

Das Parallelogramm ermöglicht eine Übersetzung von einer reinen Drehbewegung auf eine kombinierte Bewegung aus Translation und Rotation. Dies bedeutet allerdings noch immer (vgl. Pendelaktorik) die Induzierung einer Reibkraft entgegen der Bewegungsrichtung des mittleren Hebels (I3) und der Ball erfährt einen Drehimpuls. Abbildung 18 zeigt, dass es einen Auslenkbereich gibt in dem die Kraft auf den Ball die Lagerkräfte übertagt. Dieser Bereich stellt den Betriebsbereich dar.

Der starke Anstieg der Ballkraft bei einer Annäherung des Auslenkwinkels auf 90° liegt darin begründet, dass die Kraftverhältnisse statisch betrachtet wurden und eine Auslenkung am Hebelarm so gut wie keine Auslenkung in Ballnormalrichtung erzeugt. Dadurch muss, um die Energieerhaltung zu gewährleisten, die Berührkraft zwischen dem Hebel und dem Ball gegen Unendlich streben.

Ein weiterer Grund diesen Betriebsbereich als nicht sinnvoll nutzbar anzusehen ist der Umstand, dass die Geschwindigkeitskomponente in Ballrichtung bei einem großen Auslenkwinkel gegen Null strebt und somit kein akzeptabler Impuls mehr auf den Ball übertragen werden kann.

2.3.4 Die Schere

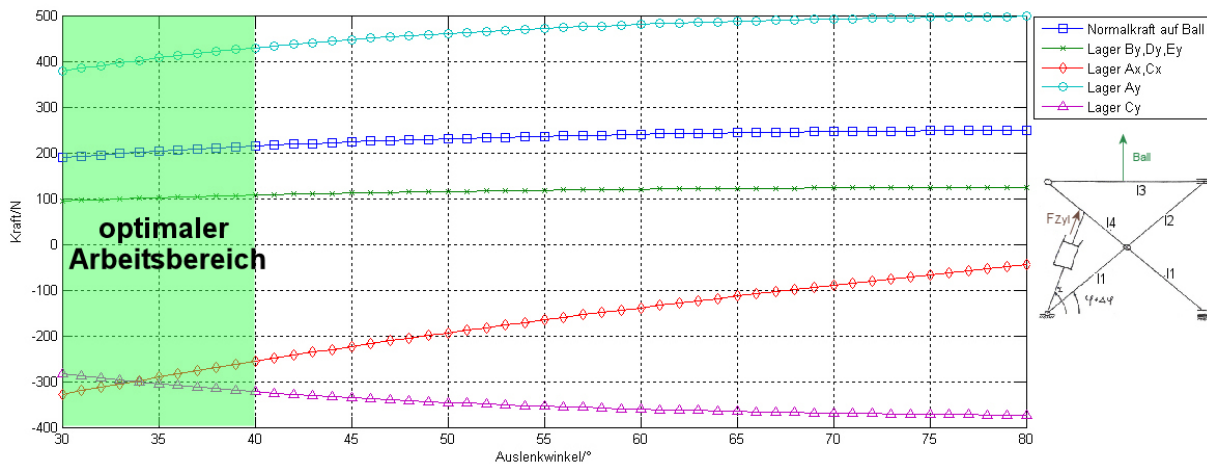


Abbildung 19: Die Geometrie der Scherenanordnung

Die Scherenkinematik ermöglicht es, im Gegensatz zu den davor vorgestellten kinematischen Ketten, eine reine Translationsbewegung auf den Ball auszuüben, wodurch der Ball keine reibungsinduzierte Rotation erfährt.

Abbildung 19 zeigt, dass die Berührkraft zwischen Schere und Ball nur geringfügig über den Auslenkwinkel zunimmt, dagegen das zentrale und obere Lager einen erheblichen Kraftanstieg aufweisen. Daher ist ein Betriebsbereich bei niedrigem Auslenkwinkel zu bevorzugen.

Die wesentlichsten Nachteile der Kette sind der komplexe Aufbau und die damit verbundene niedrige Betriebssicherheit. Die Schere müsste sehr massiv ausgeführt sein, um Kollisionen schadlos zu überstehen, oder so weit innerhalb der Robotergeometrie angebracht werden, dass es zu keinen Kollisionen mit anderen Robotern kommen kann. Dies wiederum ist problematisch, da nur kleine Auslenkwinkel überstrichen werden sollen.

2.3.5 Die vollvariable Kette

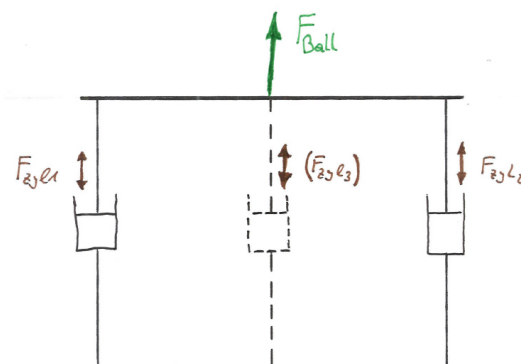


Abbildung 20: Die Geometrie der vollvariablen Anordnung

Der Vorteil der in Abbildung 20 dargestellten kinematischen Kette ist die Möglichkeit, durch Ansteuerung dreier Aktoren jeden beliebigen Abschusswinkel zu realisieren. Außerdem ergibt sich,

Neuentwicklung eines Handlingmoduls für eine Autonome Roboterplattform

unter der Annahme, dass jeder einzelne Aktor die für alle Ketten eingesetzte Kraft von 500N aufbringen kann, für den Schuss in der Ebene, für den alle drei Aktoren gleichzeitig und gleichförmig beschleunigt werden, eine Verdreifachung der auf den Ball wirkenden Kraft. Dies bedeutet eine Bauraumverkleinerung, da kleinere Aktoren verwendet werden können um die gleiche effektive Kraft auf den Ball zu erzeugen.

Jedoch zeigt auch genau dieser Fall der Bewegung den großen Nachteil der Konstruktion auf. Um einen wirklich einwandfrei geraden Schuss abzugeben, muss gewährleistet werden, dass alle drei Aktoren exakt angesteuert werden können und eine idente Weg-Zeit-Kennlinie aufweisen.

Wie jedoch in Kapitel 2.4 dargelegt wird, soll das Ballhandling Modul mit einem pneumatischen Aktorkonzept ausgestattet werden. Dies bedeutet aber wiederum, dass alle Schlauchleitungen zu den Aktoren einen identen Durchfluss ermöglichen müssen und auch der Arbeitsdruckabfall in den einzelnen Aktoren ident sein muss. Da jedoch angenommen werden kann, dass die drei Aktoren vom gleichen Microcontroller angesteuert werden, ist bereits der Ventilschaltzeitpunkt der drei Aktorventile nicht genau synchron, da der Controller immer nur einen Befehl nach dem anderen abarbeiten kann.

Zusätzlich ergibt sich keine Geschwindigkeitssteigerung durch den Einsatz mehrerer Aktoren.

2.3.6 Gegenüberstellung der kinematischen Ketten

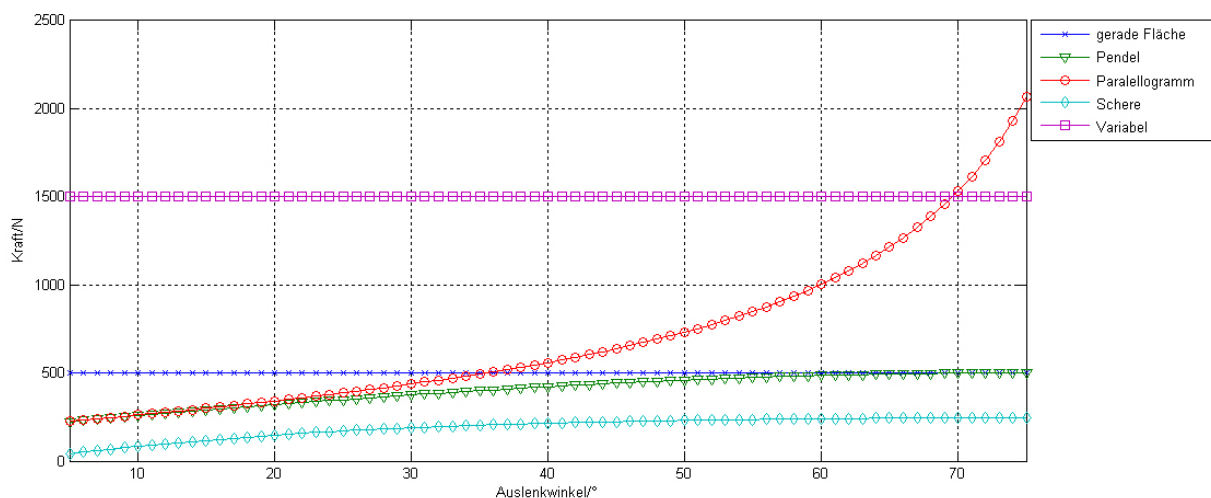


Abbildung 21: Vergleich der möglichen Kraftübersetzungen

Abbildung 21 zeigt, dass bei Verwendung baugleicher Aktoren, die vollvariable Kette die beste Kraftübertragung ermöglichen würde. Da dieser Aufbau aber zu einem erheblich größeren Bauraum führt und daher kleinere Aktoren zum Einsatz kommen müssten, ist der Kraftertrag gleichzusetzen mit der geraden Fläche. Im Gegensatz zu dieser ist die vollvariable Lösung zwar universell einsetzbar, es überwiegen allerdings die auf Seite 20 beschriebenen steuerungsbedingten Nachteile, was dazu führt, dass die Lösung der geraden Fläche zu bevorzugen ist.

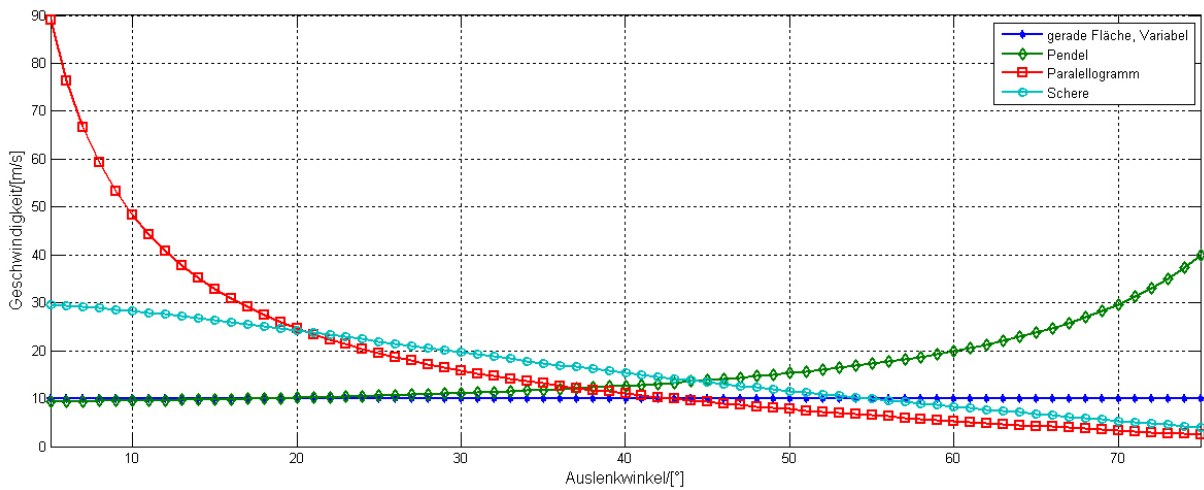


Abbildung 22: Vergleich der möglichen Geschwindigkeiten

Das Parallelogramm kann zwar eine wesentlich höhere Kraft auf den Ball aufbringen, ist im Gegensatz dazu aber äußerst unvorteilhaft in Bezug auf die Geschwindigkeitsübersetzung (siehe Abbildung 22). Außerdem entsteht die zuvor beschriebene Reibkraft durch die Bewegung normal zur Schussrichtung und eine dadurch induzierte Rotation.

Die Scherenausführung ist ein äußerst interessantes Konzept, allerdings müsste eine sehr robuste Konstruktion eingesetzt werden, was wiederum dazu führt, dass sehr große Massen bewegt werden müssen und die Lagerbelastung steigt.

Man erkennt in Abbildung 22, dass der optimale Arbeitsbereich fast aller kinematischen Ketten im Bereich geringer Winkel liegt und bei höherer Auslenkung sogar eine Geschwindigkeitsübersetzung ins Langsame erfolgen kann.

Vergleich der kinematischen Ketten				
Kinematische Kette	Bereich maximaler Kraftübersetzung	Bereich größter Lagerkraft	Bereich maximaler Geschwindigkeitsübersetzung	Bauraum
Gerade Fläche	gesamter Hub	-	gesamter Hub	sehr klein
Pendel	Hubende	Hubende	Hubende	klein
Parallelogramm	Hubende	Hubanfang & -ende	Hubanfang	sehr groß
Schere	gesamter Hub	gesamter Hub	Hubanfang	mittel
Variabler Ansatz	gesamter Hub	-	gesamter Hub	groß

Tabelle 3: Vergleich der kinematischen Ketten

2.4 Die Wahl des günstigsten Aktorprinzips

Im Rahmen der Konzeptionierung eines Schussmoduls gilt es, einen zentralen Effekt stets im Auge zu behalten und bestmöglich auszuschalten: Die durch die Aktorbeschleunigung erzeugten Schwingungen der Modulstruktur bewirken, bei ungünstiger Amplitude beziehungsweise ungenügender Entkoppelung, Erschütterungen der Kamera- und Spiegelhalterung. Durch diese hochfrequenten Schwingungen kommt es zu einem Verschlieren des Kamerabildes. (Die aktuell verwen-

dete Kamera vom Typ AVT Marlin F-080C hat eine maximale Framerate von 30fps, sobald sich die Kamera also in oder über diesem Frequenzbereich bewegt, kann sie die aktuelle Position des Roboters nicht mehr ermitteln).

Dieser Effekt kann durch eine aufwendige, mechanische Schwingungsentkoppelung stattfinden, oder durch die geeignete Wahl eines Aktorprinzips, das zum einen leicht und sicher für den Anwender ist und zum anderen einen vorteilhaften Kraftverlauf über den Hub anbietet.

Leider kommt es im RoboCup sehr oft vor, dass die Wahl des günstigsten Aktorprinzips stark von der technischen Ausrichtung der Teammitglieder abhängt. So arbeiten die meisten Middle-Size-Teams mit elektronischen Spulenaktoren.

Um diesen Fehler zu vermeiden, werden nachfolgend verschiedene Aktorgrundprinzipien aus unterschiedlichen technischen Fachrichtungen genauer betrachtet und bewertet. Dieser Prozess stellt eine der grundlegendsten Entscheidungen der Modulkonzeption dar, da nicht nur der vorhandene Bauraum, der Entwicklungsaufwand, die benötigte Schwingungsentkoppelung und die dabei entstehenden Kosten eine Rolle spielen, sondern auch dem interdisziplinären Aspekt eines studentischen Robotikteams Rechnung getragen werden muss.

2.4.1 Die Ausgangssituation

Wie bereits beschrieben soll die neue Schussmechanik sowohl einen hohen, als auch einen flachen Schuss realisieren können. Diese Eigenschaft wird mittels einer Kupplung realisiert, welche wiederum die Schnittstelle zum, in weiterer Folge zu bestimmenden, Aktor darstellt. Es soll die größtmögliche Abschussgeschwindigkeit realisiert werden und gleichzeitig ein reproduzierbarer und präziser Schuss möglich sein, der stufenlos regelbar ist und dabei weder den vorhandenen Bauraum überschreitet, noch die Einhaltung des maximal zulässigen Gewichts von 10kg des Gesamtmoduls gefährdet.

Um die verschiedenen Aktoren vergleichbar zu machen sollen an dieser Stelle die benötigte Schusskraft beziehungsweise die Schussenergie am Ende des Stoßvorgangs angeführt werden. Es ist allerdings anzumerken, dass diese Werte lediglich zum einfachen Vergleich der Aktorprinzipien herangezogen werden können und nicht als detaillierte Beschreibung des Stoßvorgangs zu verstehen sind, da Reibungseinflüsse und Deformation vernachlässigt werden.

$$F_{Schuss} = \frac{v_{soll} \cdot m_{Ball}}{t_{beruehr}} = 450N$$

$$E_{kin} = \frac{m_{ball} \cdot v_{Ball}^2}{2} = 22,5J$$

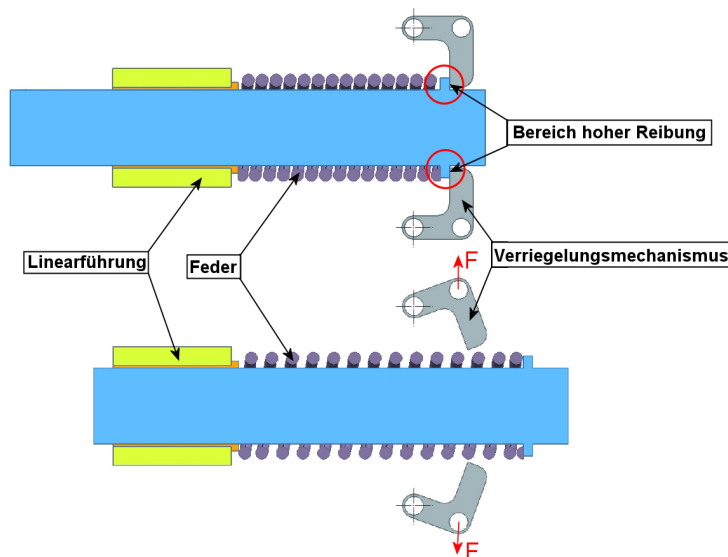
Neben diesen quantifizierbaren Größen können aber auch weitere Anforderungen als Kriterien für die Auswahl des optimalen Aktorprinzips festgehalten werden:

- niedriges Gewicht
- schnelle Verfahrensgeschwindigkeit
- einfache Bedienung
- hohe Ausfallssicherheit
- niedrige Kosten
- hohe Anwendersicherheit
- kleiner Bauraum
- hohe Leistungsdichte

Es sollen vier grundlegend verschiedene Aktorprinzipien vorgestellt und anschließend bewertet werden.

2.4.2 Die mechanische Lösung

Der Grundgedanke der mechanischen Lösung ist, die für den Schuss benötigte Energie in einem Federmechanismus zu speichern und für die Ausführung der Schussbewegung lediglich ein Verriegelungselement zu öffnen. Der Ablauf des Schussvorgangs lässt sich im Detail so beschreiben: Ein Aktor kontrahiert die Feder und der aufgezo- gene Mechanismus wird in seiner Ausgangs- lage von einem zweiten Aktor fixiert. Soll ein Schuss abgegeben werden, öffnet die Verriegelung und der Stößel wird durch die Feder beschleunigt. Die Endgeschwindigkeit des Stößels kann dabei von der Federkraft und diese wiederum vom Federweg abgeleitet werden. Um eine stu- fenlose Einstellbarkeit der Geschwindigkeit zu realisieren ist es allerdings nötig, entweder einen dritten Aktor einzubauen oder den mit der Komprimierung der Feder beauftragten Aktor in Form eines linear einstellbaren Schlittens auszuführen (etwa einem Linearmotorschlitten). Die Vortei- le eines solchen Systems sind die einfach anzusteuern- den Stellaktoren, die Unabhängigkeit von Stromausfällen durch die mechanische Verriegelung sowie kostengünstige Bauteile (im Falle ei- nes Verzichts auf den Linearmotor). Abbildung 23 zeigt die Betriebszustände des mechanischen Aktors.

Abbildung 23: Betriebszustände des mechanischen Mechanismus²⁰

Die Nachteile dieser Konstruktion können in zwei Punkten zusammengefasst werden. Der Hauptstellaktor, der für die Komprimierung der Feder zuständig ist, muss nicht nur der Federkraft entgegenwirken, sondern außerdem noch sämtliche Reibungseinflüsse überwinden. Dadurch weist er einen großen Bauraum und ein hohes Gewicht auf.

Doch die Reibung erzeugt ein noch viel größeres Problem. Der Verriegelungsmechanismus muss im Falle des Schusses gegen die in der Verriegelung anliegende Reibkraft arbeiten.

Diese Kraft berechnet sich, bei einer konservativen Annahme des Reibkoeffizienten ($\mu = 0,1$), zu $R_{\text{schuss}} = F_{\text{Schuss}} \cdot \mu = 45\text{N}$. Ein Aktor der diese Kraft aufbringen kann ist aber wiederum nur mit großem Aufwand und hohen Kosten auf einem kleinen Bauraum zu realisieren. Außerdem wird die Aufgabe, wenn der Federweg stufenlos einstellbar sein soll, bedeutend komplizierter.

Zusätzlich ist es im Rahmen dieses Konzepts ohne erheblichen Aufwand nicht möglich eine Endlagendämpfung des Schussmechanismus zu realisieren. Der Stößel wird also in der Endlage einen harten Stoß auf das Gehäuse ausüben, was wiederum zu ungewollten Erschütterungen der Kamera führt.

Außerdem benötigt diese Vielzahl an Stellaktoren eine nicht zu unterschätzende Energiemenge und belastet somit zusätzlich die Roboterakkumulatoren.

All diese Überlegungen führen dazu, dass der Ansatz eines mechanischen Aktorkonzepts ein hohes Gewicht und unnötige Komplexität aufweist und daher als nicht geeignet eingestuft wird.

2.4.3 Lösung unter Verwendung eines Flywheels

Nachdem das Konzept des mechanischen Aktors auf Grund der vielen Stellaktoren und der damit verbundenen Betätigungsenergiemenge als nicht ausreichend bewertet wird, liegt es nahe, ein neues Konzept zu generieren, das lediglich kleine Aktoren benötigt und seine Energie selbst speichern kann.

Dadurch wird der Einsatz einer Schwungmasse (das so genannte Flywheel) in Kombination mit

²⁰[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 3]

einem Getriebe interessant.

Die ersten Konzepte einer Schwungmasse reichen zurück ins elfte Jahrhundert. Später kamen Flywheels im öffentlichen Verkehr und heute zum Beispiel in Form des KERS (Kinetic Energy Recovery System) in der Formel 1 zum Einsatz.²¹ Das mechanische Schwungrad besteht aus einer rotierenden Scheibe und erreicht Drehzahlen von bis zu 90.000 Umdrehungen pro Minute.²²

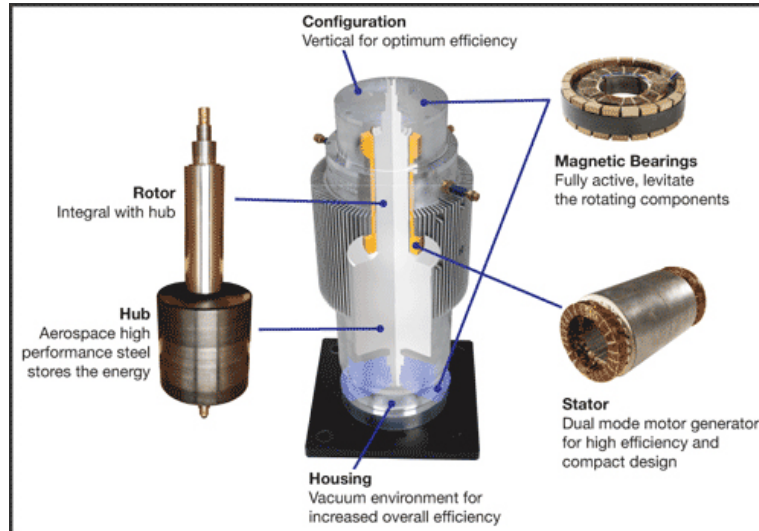


Abbildung 24: Funktion eines Flywheels²³

Das Flywheel speichert die Energie also durch die Rotationsbewegung, wobei vor allem die hohe Geschwindigkeit und weniger die Masse des Schwungrads zur Gesamtenergie beiträgt. Normalerweise wird die so gespeicherte Energie verwendet um in einem Generator wieder elektrische Energie für einen dazugehörigen Motor zu erzeugen. Im Falle der Verwendung als Schussaktor wäre allerdings vor allem der Umstand, dass ein Flywheel sehr kurze Hochleistungspeaks abgeben kann von Vorteil.

Um diese Eigenschaft nutzen zu können muss das Flywheel mit einem effektiven Getriebe kombiniert werden, um die gespeicherte Rotationsenergie nicht in elektrische und zurück in mechanische Energie transformieren zu müssen.

An dieser Stelle wird der Einsatz einer Schwungmasse sehr komplex, vor allem wenn die Schussgeschwindigkeit, wie gefordert, stufenlos einstellbar sein soll.

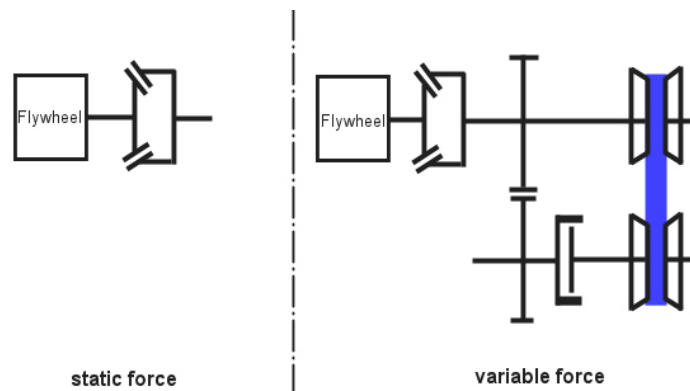
Abbildung 25 zeigt die Getriebeanordnung für den einstellbaren sowie nicht einstellbaren Schussvorgang. Im Falle der konstanten Schusskraft genügt der Einsatz einer herkömmlichen Lamellen- oder Konuskupplung. Soll die Schussgeschwindigkeit aber variabel verstellbar sein, ist es nötig, eine Getriebestufe zu integrieren. Hier wird gewöhnlich auf ein so genanntes CVT (Continuously Variable Transmission) zurückgegriffen.

Beide Lösungen erzeugen allerdings immer noch eine rotierende Ausgangsbewegung, die eventuell noch in eine Linearbewegung umgewandelt werden muss, um die Möglichkeit des geraden Schusses zu bieten.

²¹[Vgl. BUCHROITHNER, Systematische Analyse von Hybridfahrzeugen mit Schwungradspeicher unter Erfassung von Entwicklungstendenzen]

²²[INTERNET, Flywheel, Stand: 27.05.2011, 12:45]

²³[INTERNET, Flywheel, Stand: 27.05.2011, 12:45]

Abbildung 25: Getriebeaufbau mit Flywheel²⁴

An dieser Stelle sollen überschlagsmäßig die Eckdaten eines Flywheels bestimmt werden, das genug Energie speichern kann, um das Handlingmodul für die Dauer einer Halbzeit mit Leistung zu versorgen. Dabei sei, basierend auf dem vorhandenen Bauraum im Modul, angenommen, dass die Masse des Flywheels 0,5kg betrage und der Radius 0,2m ist.

Berücksichtigt man außerdem noch den Einfluss der inneren Reibung des Systems und den Wirkungsgrad der Kupplungen mit einem Gesamtwirkungsgrad von 0,8, so lässt sich überschlagsmäßig die benötigte Winkelgeschwindigkeit der Schwungmasse berechnen:

$$E_{kin} = \frac{J_{wheel} \cdot \omega_{wheel}^2}{2}$$

$$\omega_{wheel} = 50.000 \frac{U}{min}$$

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Flywheel einige nicht unerhebliche Vorteile, wie etwa Temperaturunabhängigkeit, die hohe Energiedichte oder eine lange Lebensdauer²⁵ bietet. Allerdings überwiegen die negativen Aspekte, wie etwa das hohe Gewicht der Bauteile (Gehäuse, Kupplung) und die Komplexität des verwendeten Getriebes. Das Flywheel ist also nicht für den Einsatz auf einer mobilen Roboterplattform dieser Größe geeignet.

Weitere Nachteile des Flywheel-Einsatzes auf einem mobilen, autonomen Roboter stellen die hohe Drehzahl der Schwungmasse und die damit verbundenen Sicherheitsrisiken, die Verwendung von Ultra Low Friction Bearings (oder magnetischen Lagern) zum Erreichen eines hohen Wirkungsgrades und zusätzlich die teuren Werkstoffe für die benötigten Komponenten dar.

Und zu guter Letzt kommt ein Effekt zu tragen, der das kinematische Verhalten des gesamten Roboters verändern kann: Die Präzession.

Die Präzession (Kreiseffekt) beschreibt die Eigenschaft eines rotierenden Körpers unter Einfluss eines äußeren Drehmoments die Drehachse zu ändern. Um den negativen Einfluss der Präzession zu verhindern und eine stabilisierende Wirkung zu erzielen muss das Flywheel mit einer vertikalen Rotationsachse im Modul verbaut werden. Diese Maßnahme eliminiert allerdings nur die größten Effekte, da der Roboter auf Grund des unebenen Bodens einer sich ständig ändernden Momentenbelastung unterworfen ist, die sich wiederum auf das Flywheel auswirkt.

Der Präzession kann allerdings zu einem gewissen Anteil durch das Anbringen zweier in entgegengesetzter Richtung montierter Schwungmassen entgegengewirkt werden - eine Lösung die

²⁴[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 4]

²⁵Vgl. [TANG, LIU, FANG, Superconducting Energy Storage Flywheel, 2010]

wiederum zu einer Erhöhung des Gewichts führt was zusammen mit dem großen Sicherheitsrisiko den Einsatz eines Flywheels auf einem mobilen Roboter, der starken Kollisionskräften ausgesetzt ist, nur schwer realisierbar macht.

2.4.4 Die elektronische Lösung

Die Integration eines Solenoiden (Zylinderspule) in das Aktorkonzept wird aktuell von vielen Middle-Size-Teams vorangetrieben. Die Idee stammt dabei aus der Small-Size-League, in der seit der Einführung auf Zylinderspulen als Schussaktoren zurückgegriffen wird.²⁶ Da in der Middle Size League aber wesentlich größere Kräfte erforderlich sind, um dem Ball die gewünschte Geschwindigkeit aufzuprägen, war es lange Zeit nur durch Inkaufnahme großer Sicherheitsrisiken möglich, die Solenoidtechnik zu verbauen.

Die grundlegende Idee eines solchen Solenoiden ist denkbar einfach. Ein Stößel der zur Hälfte aus Metall und zur anderen Hälfte aus Kunststoff besteht befindet sich im Inneren einer Zylinderspule. Bestromt man die Spule, wird die Metallhälfte des Stößels in die Spule gezogen und der Schuss vollzogen.

Basierend auf der Lorentz Gleichung

$$F_{Schuss} = B \cdot I \cdot l$$

ist leicht ersichtlich, dass bei vorgegebener Baugröße der angelegte Strom die wesentliche Stellgröße der Kraft ist. Die größten Vorteile der Spulenanordnung sind der Umstand, dass die Schusskraft grundsätzlich durch höhere Stromzufuhr beliebig gesteigert werden kann, der geringe Bauraum und die relativ niedrigen Kosten, wenn man die Spule selbst herstellt.

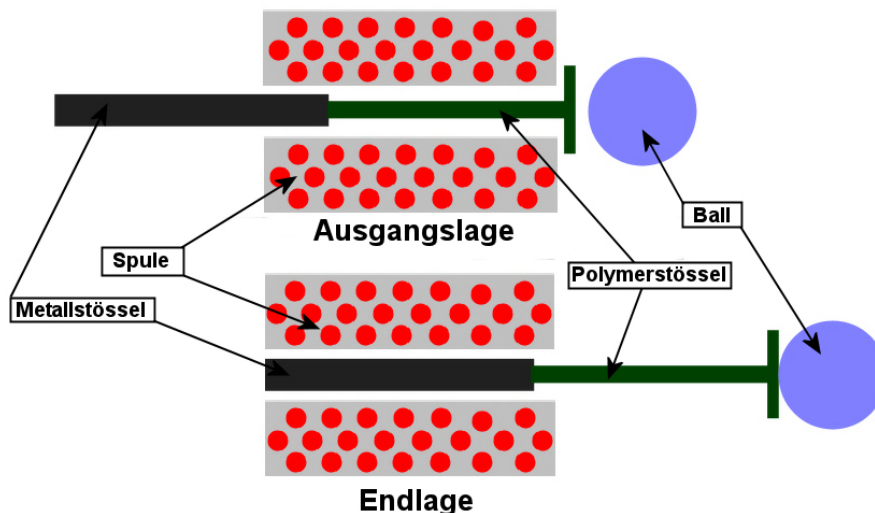


Abbildung 26: Betriebszustände der Spule²⁷

Obwohl das elektromagnetische Aktorprinzip sehr vielversprechend klingt liegen die Probleme des Konzepts im Detail. Der erste große Nachteil liegt in dem Umstand, dass die Lorentz Formel nur für den Fall gilt, dass kein magnetischer Schild eingesetzt wird, da dieses zusätzliche Material

²⁶Vgl. [LUEGINGER: Neuentwicklung eines Small-Size League Roboters, 2010]

²⁷[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 5]

die Flussdichte der Spule bedeutend beeinflusst²⁸. Es kann allerdings auf einen Schutz gegen die großen magnetischen Flussdichten nicht verzichtet werden, da diese die Funktion der Platinen und Schaltungen am gesamten Roboter gefährden. Es muss also auf eine Berechnung mittels Lorentz Formel verzichtet werden und eine aufwendige Finite Elementen Analyse des magnetischen Feldes durchgeführt werden.

Da sich jedoch die Grundaussage, dass die magnetische Flussdichte proportional zum elektrischen Strom und damit die erzeugte Kraft proportional zum Quadrat des Stromes in der Spule ist nicht ändert, muss mit hohen Spannungen und Strömen im Schaltkreis des Handlingmoduls gerechnet werden. Ein zusätzlicher elektrischer Zwischenkreis (der wiederum eine eigene Schirmung benötigt) zum vorhandenen 24V/7V Boardnetz ist einzuführen, was wiederum hohen Aufwand und tiefgreifende Sicherheitsmaßnahmen beinhaltet um Personen, die vor allem im Turniereinsatz Reparaturarbeiten durchführen müssen, zu schützen.

So wird aus dem grundsätzlich sehr einfachen mechanischen, ein aufwendiges und komplexes elektronisches Konzept.

Der einzige Weg, den Strom durch die Spule herabzusetzen ist die Einführung einer höheren Windungszahl, was wiederum zu einem ernstzunehmenden Gewichtsproblem führt.

Die meisten aktuell in der Middle-Size eingesetzten Spulen werden mit ungefähr 50A bei 1500 Wicklungen betrieben, was zu einem Gesamtgewicht von zirka 4kg, einem Durchmesser von über 50mm und einer Länge von 200mm führt.²⁹ Diese Ergebnisse bedeuten aber, dass es nicht nur auf Grund des hohen Gewichts, sondern auch wegen des vorhandenen Bauraums, nicht möglich ist, mehr als eine dieser Spulen im Modul zu verbauen.

2.4.5 Die pneumatische Lösung

Ein oft unterschätztes Konzept ist der Einsatz von pneumatischen Aktoren. Die großen Vorteile des Druckluftesatzes spiegeln sich in leichten Aktoren, der einfachen Ansteuerung der Magnetventile, den geringen Kosten, der hohen Betriebssicherheit und der einfachen Wartung auf Grund standardisierter Verbindungsstellen wider.

Allerdings ist es wichtig, nicht nur eine unterbrechungsfreie Aufrechterhaltung des Betriebsdruckes zu gewährleisten, um jederzeit die Möglichkeit einer Aktorauslösung zu haben, es muss außerdem sichergestellt sein, dass der pneumatische Kreis so dimensioniert und vor allem montiert wird, dass der gewünschte Durchfluss vom Versorgungstank bis zum Aktor erreicht wird.

Hier stellen vor allem Winkelverschraubungen und Bauteile, die keinem Industriestandard folgen, die größte Herausforderung im Konzeptionsprozess dar.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus dem Umstand, dass natürlich die gesamte Druckluftversorgung innerhalb des Moduls untergebracht werden muss. Hier ist es zweckmäßig, auf Ausrüstung aus nicht industriellen Disziplinen zurückzugreifen. Zum Einsatz kommt eine Aluminiumnotfallflasche (Volumen: 0,4l, Innendruck 200bar) und ein Druckregelventil aus dem Tauchsport, da diese Ausrüstung leicht und vor allem strengsten Qualitätskriterien unterworfen ist.

²⁸Vgl.[TANG, LIU, FANG, Superconducting Energy Storage Flywheel, 2010]

²⁹Vgl.[SAUR, Entwicklung eines elektromagnetischen Schussmechanismus für autonome mobile Fußballroboter, 2008]

Die Verwendung des Druckregelventils bedeutet leider gleichzeitig die Schaffung eines Flaschenhalses für den Luftdurchfluss, da diese Komponente für die Luftmenge des menschlichen Körpers ausgelegt ist und dadurch einen zu kleinen Innendurchmesser anbietet. Der dadurch entstehenden Durchflussreduktion kann mit Hilfe eines Aluminiumzwischen-tanks entgegengewirkt werden. Dieser garantiert die Versorgung mit ausreichend Luftmenge, um bis zu vier Schüsse abzugeben. In dieser Zeit fließt aber bereits genug Luft nach, um den Tank ständig über dem Minimalarbeitsdruck von 2bar zu halten (Grenze ab dem pneumatische Zylinder nicht mehr genug Druck haben, um auszulösen).

Für Details zur verwendeten Flasche, den Sicherheitstests des Zwischentanks und den nachfolgend nur kurz angeführten Aktoren wird auf Kapitel 3.4, Seite 55 verwiesen.

Um das Sicherheitsrisiko beim Hantieren am fertigen Modul (zum Beispiel bei Turniereinsätzen) weiter zu minimieren, ist außerdem ein leicht zugängliches Notventil zwischen Druckregler und Zwischentank montiert, sodass es möglich ist, die Aktoren schnell von der Versorgung zu trennen.

Durch die wesentlich leichteren Komponenten des pneumatischen Kreises ist es außerdem möglich, drei Aktoren im vorgegebenen Bauraum zu integrieren. Damit wird nicht nur das Schussrepertoire größer, es ergeben sich auch völlig neue Überlegungen zur Beeinflussung des Schusses selbst.

Als Hauptschusszylinder, welcher zentral im Modul befestigt ist und für den geraden und hohen Schuss verwendet wird, kommt ein herkömmlicher Rundzylinder der Firma FESTO zum Einsatz. Dieser Rundzylinder ist mit einer passiven Endlagendämpfung ausgestattet und kann außerdem mit Hilfe von Näherungssensoren (Siehe Kapitel 4.6.1, Seite 84) auch aktiv verzögert werden um einen möglichst geringen Endanschlagsimpuls zu erzielen.

Zudem werden im neuen Modul so genannte *Fluidic Muscles* der Firma FESTO eingesetzt. Diese basieren auf dem Prinzip eines Schlauchs, der bei Beaufschlagung mit dem Arbeitsdruck sehr schnell kontrahiert und dabei innerhalb eines sehr geringen Hubes große Kräfte erzeugt.

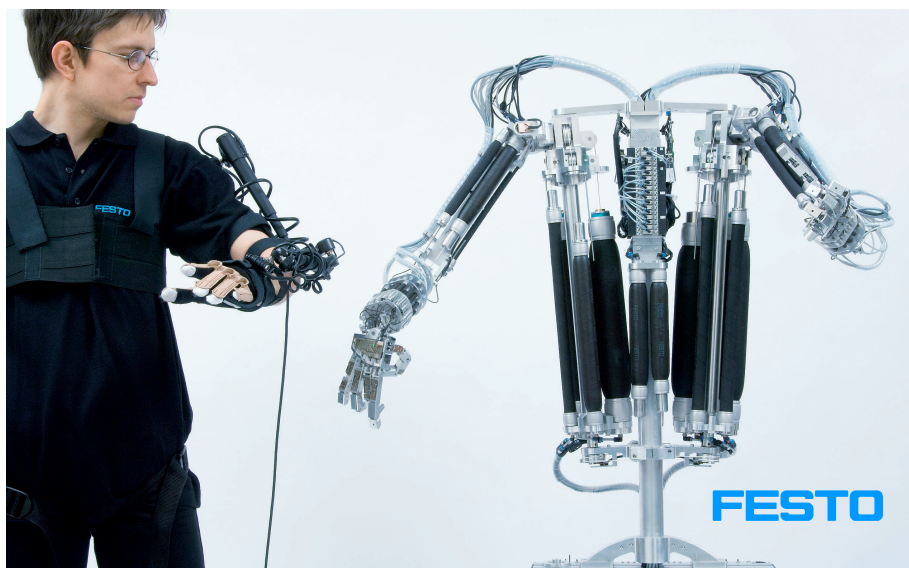


Abbildung 27: Humanoider Muskelroboter der Firma FESTO³⁰

Die herausragendste Eigenschaft des Fluidic Muscles besteht allerdings darin, dass er zum einen, bei gleichem Bauraum, die 10-fache Kraft eines herkömmlichen Rundzylinders besitzt und zum anderen der Verlauf der Kraft über den Hub sehr stark nachlässt. Nach einer Kontraktion von 25 Prozent seiner Nennlänge erzeugt er beinahe keine Kraft mehr, was wiederum bedeutet, dass es zu keinem harten Endlagenanschlag wie bei herkömmlichen Pneumatikzylindern, kommt.

Weiters muss durch die kontrahierende Bewegung des Muskels eine Hebelgeometrie zur Übersetzung in eine für einen Schuss brauchbare Bewegung konzipiert werden. Diese kann aber ausgenutzt werden, um die resultierende Kraft beziehungsweise Geschwindigkeit auf den Ball zu erhöhen.

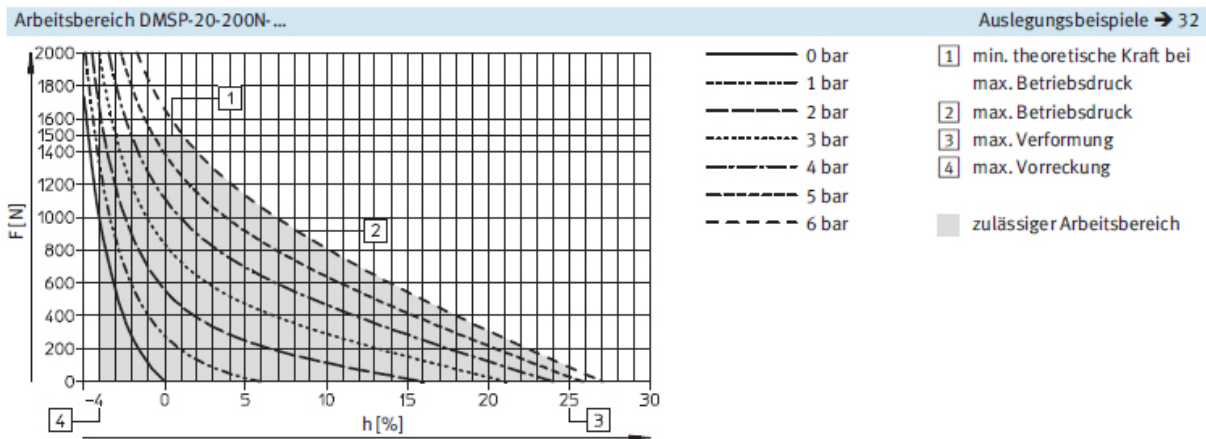
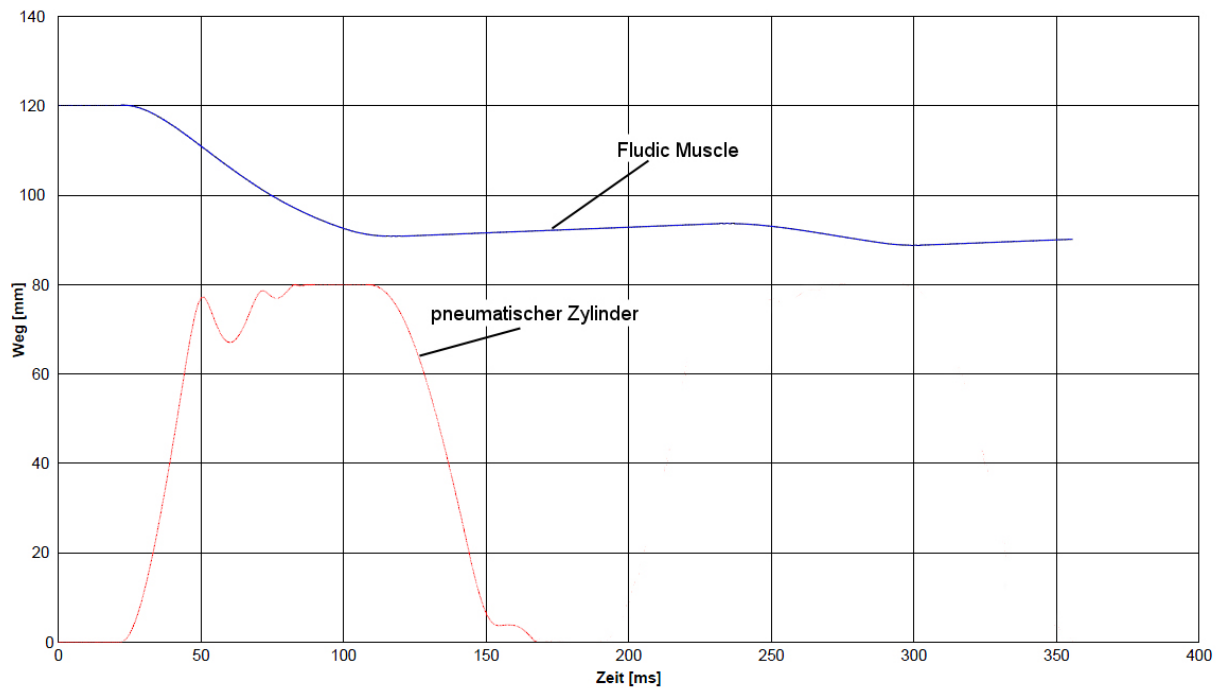


Abbildung 28: Kraft-Weg-Kennlinie des Fluidic Muscles³¹

Zum Abschluss sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass die Firma FESTO eine Simulation des pneumatischen Kreises durchgeführt hat um Kraft-Weg-Diagramme für die eingesetzten Muskel sowie den pneumatischen Hauptschusszylinder zu errechnen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind leider nur wenig aussagekräftig, da sämtliche Reibungseinflüsse vernachlässigt wurden. Um zu einem genaueren Ergebnis zu gelangen wird in Kapitel 3.4.3, Seite 58 die Versuchsdurchführung zur Messung eben dieses Weg-Zeit-Diagramm zur Bestimmung des Verhaltens der Fluidic Muscles im realen Einsatz erläutert.

³⁰[FESTO, Humanoider Muskelroboter, Stand 27.05.2011 12:55]

³¹[FESTO, Produktdokumentation DMSP/MAS, 2009/11]

Abbildung 29: Aktoren Weg-Zeit-Diagramm³²

So ist es möglich, dass der gesamte pneumatische Kreis (siehe Anhang, Seite A -3) unter 5kg wiegt, eine Eigenschaft, die im Vergleich zu anderen Aktorkonzepten, als sehr vorteilhaft zu bewerten ist.

Das letzte Kriterium, das für den Einsatz eines pneumatischen Aktorkonzepts spricht, ist die tiefe Verankerung des interdisziplinären Gedankens in diesem Ansatz. Das System vereint eine Vielzahl mechatronischer Anwendungsgebiete und bietet so eine optimale Grundlage für eine breite Ausbildung und fächerübergreifende Forschungstätigkeit.

2.4.6 Bewertung und Entscheidung

Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien mit einem Punktesystem bewertet, wobei 5 Punkte bedeutet, dass das angegebene Kriterium in vollem Umfang erfüllt wird. 1 Punkt wird vergeben, wenn ein Kriterium gar nicht oder nur sehr mangelhaft umsetzbar ist.

Tabelle 4 führt zusätzlich stichwortartig die Grundlagen für die Punktevergabe an.

³²[FESTO, CACOS ®-Computer Aided Cylinder Optimisation System Berechnung, 2010]

Vergleich der Aktorprinzipien					
5 1		
Kriterium voll erfüllt			Kriterium nicht erfüllt		
Kriterium	Gewicht des Krit.	Federansatz	Flywheel	Spule	Pneumatik
Gewicht	3	1 schwere Aktoren	1 Gehäuse Flywheel	3 Gewicht der Windungen	4 Anzahl der Bauteile
Bauraum	3	3 Stellaktoren	1 Kupplungen/ CVT	2 großer Stößel damit A gering	3 Muskel vs. Zylinder
Stellaktoren	3	2 2/Hauptaktor	1 3/Hauptaktor	5 0/Hauptaktor	5 0/Hauptaktor
Kraft	3	1 komplizierte Mechanik	1 komplizierte Mechanik	3 komplexe Elektronik	4 Zwischentank nötig
Sicherheit	4	4 sperrbar, Kraft in Feder gespeichert	1 hohe Leer-drehzahl	1 Hohe Ströme/ Spannungen onBoard	4 Sicherheitsventil vs. Druckluftflasche
Zeit zwischen dem Auslösen Controller	2	2 Federkomprimierung	4 Kupplung	3 Zeitkonstante	4 Ventile - Betriebsdruck
Kosten	2	4 nur Schrittmotoren	4 Kupplung	1 Hochspannungsschaltung	4 Stellaktor und Ventile
Kosten	1	4 Stellaktoren	2 Material Flywheel/ Sicherheitsmaßnahmen	4 Elektronische Komponenten	5 Pneumatik sehr kostengünstig
Interdisziplinarität	5	4 mechatronische Lösung	4 mechatronische Lösung	1 elektrische Lösung	4 mechatronische Lösung
Summe		73	54	60	105

Tabelle 4: Vergleich der Aktorgrundprinzipien³³³³[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size, 2011, Folie 7]

Im Gegensatz zu vielen anderen Teams der RoboCup-Middle-Size wird auch die neue Generation der Mostly Harmless Roboter mit einem pneumatischen Aktorkonzept ausgeführt. Dies bringt nicht nur den Vorteil der Einsatzmöglichkeit mehrerer Aktoren mit sich - das System verspricht außerdem leichte Wartbarkeit, große Anwendersicherheit, geringen mechanischen Aufwand, niedrige Kosten und unterstützt den interdisziplinären Grundgedanken des Teams.

2.5 Die geometrische Auslegung

Dieser Abschnitt soll die Möglichkeit zweier Aktoren und ihre gegenseitige Beeinflussung beschreiben und die geometrischen Randbedingungen einer kombinierten Aktorbewegung für geraden und hohen Schuss in einer Ebene darstellen.

2.5.1 Einsatz zweier Aktoren

Kommen, wie in Kapitel 2.4.5 beschrieben, zwei seitliche Aktoren zum Einsatz, die es ermöglichen den Ball auch in der horizontalen Ebene variabel zu bewegen, ist es wichtig zu betrachten, wie die beiden Aktorenklappen (die so genannten Pinball-Arme) sich bei gleichzeitiger Auslösung gegenseitig beeinflussen.

Abbildung 30 zeigt die Kraftsituation auf beiden Aktorflächen unter der Annahme, dass der Ball zentral platziert ist und beide Klappen zeitgleich betätigt werden. Dabei gilt es zu ermitteln, ob es in speziellen Fällen zu einem Klemmen des Balles zwischen den Pinball Armen kommen kann.

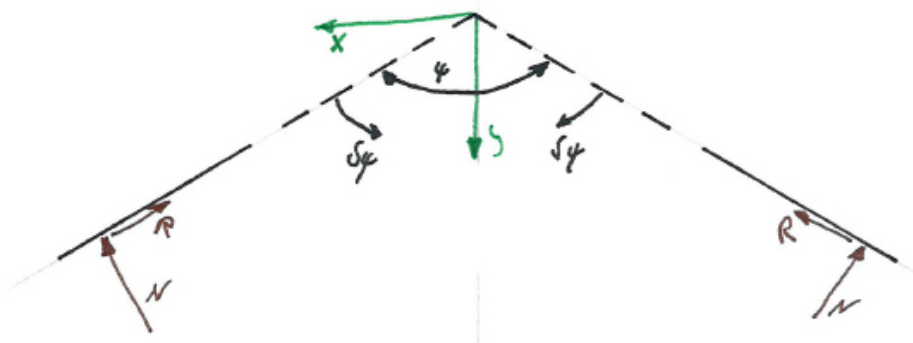


Abbildung 30: Die geometrische Auslegung zweier Aktoren

Um diesen Fall zu untersuchen werden eine Reihe von Vereinfachungen getroffen: Zum einen ist die Winkeländerung $\delta\psi$ der Aktorkraft zum Pinball-Arm so gering, dass sie in der Rechnung vernachlässigt werden kann. Dabei ist der Ausgangswinkel ψ näherungsweise 90° zum Arm, um eine möglichst gute Kraftübertragung auf den Ball zu realisieren.

Da als Aktoren die pneumatischen Muskel zum Einsatz kommen, kommt es außerdem zu dem in Kapitel 2.4.5, Seite 31 beschriebenen Aktorkraftverlauf. Die Pinball-Arme müssen also so platziert werden, dass sie sich möglichst nahe am Ballumfang befinden um die hohe Anfangskraft des Muskels voll auszunutzen.

Hier wird dahingehend vereinfacht, als dass die mechanische Konstruktion so ausgelegt wird, dass die Berührung von Pinball-Arm und Ball innerhalb eines sehr geringen Hubs des pneumatischen Muskels stattfindet. Somit kann eine statische Kraft auf den Ball angenähert werden, die

durch die Momentengleichgewichtsbedingung um den Drehpunkt des Pinball-Arms und dessen Hebelübersetzung bestimmt wird.

Die Geometrie des Pinball Arms ist dabei so ausgelegt, dass sie einen möglichst hohen Geschwindigkeitsimpuls überträgt. Der Grund hierfür ist der Umstand, dass die Kraft des Aktors sehr rasch nachlasst und daher eine lange Berührzeit zwischen Ball und Pinball-Arm nicht sinnvoll ist.

All diese Überlegungen führen zu einer Reaktionskraft auf den Ball von $\frac{F_{aktor}}{3}$, allerdings erhöht sich die auf den Ball wirkende Geschwindigkeit entsprechend um den Faktor 3.

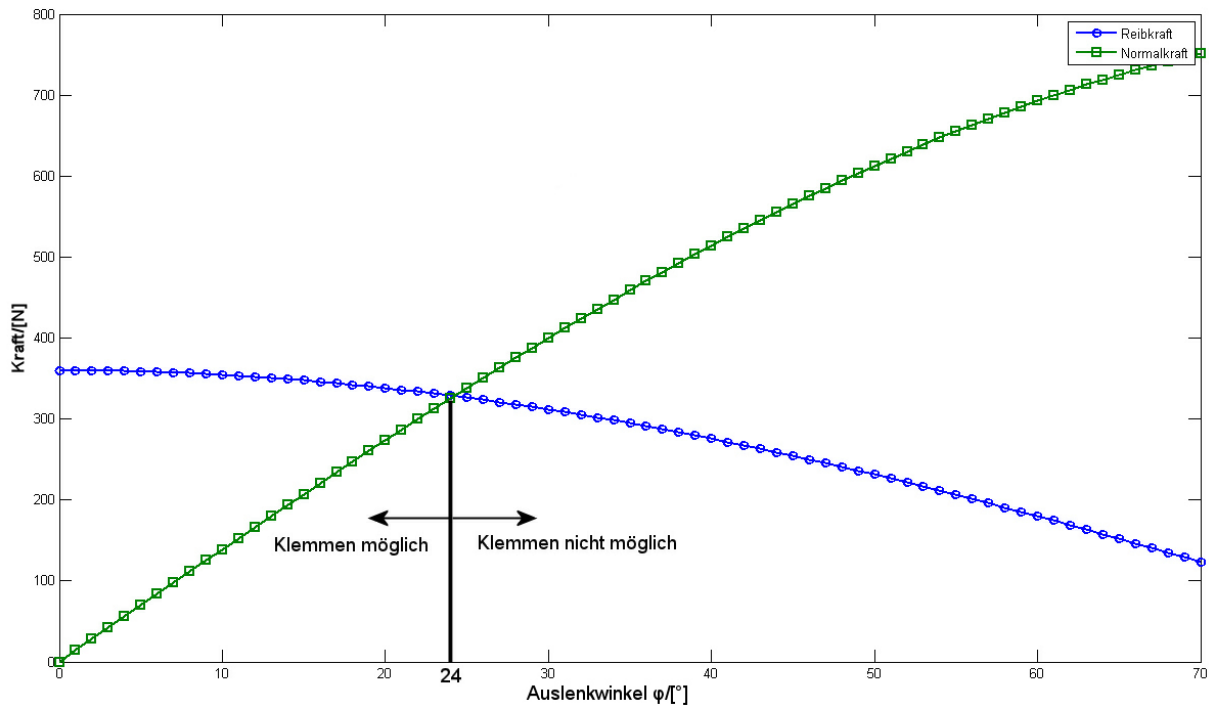


Abbildung 31: Die Kräfte bei Betätigung der Pinball-Arme

Abbildung 31 zeigt, dass ein Klemmen des Balles erst bei einem Neigungswinkel von 24° oder darunter möglich wäre. Da dieser Winkel aber auf Grund der Geometrie- und Kraftbedingungen im vorgegebenen Modulbaureaum nicht realisiert werden kann, sollen mit den Pinballarmen lediglich horizontal variable Schüsse ermöglicht werden. Diese bringen wiederum einen großen Vorteil sollte der Roboter nahe am gegnerischen Tor zum Schuss kommen, kann der Ball ohne ein Verdrehen des Roboters am Tormann vorbei geschossen werden.

2.5.2 Geometrie der Pendelmechanik

Da der hohe Schuss ausschließlich durch den Hauptschusszylinder, der zentral am Modul angebracht ist, bewerkstelligt werden soll, ist hier nur insofern eine Beeinträchtigung zweier Aktoren gegeben, als dass sich der Stößel, der den geraden Schuss ausführt und gleichzeitig bei geschlossener Kupplung (Kapitel 4.5, Seite 75) das Pendel betätigt, im Falle des hohen Schusses zu keiner Zeit vor der Berührebene von Ball und Pendel befinden darf. Den genauen Ablauf beim geraden und hohen Schuss zeigt Abbildung 32.

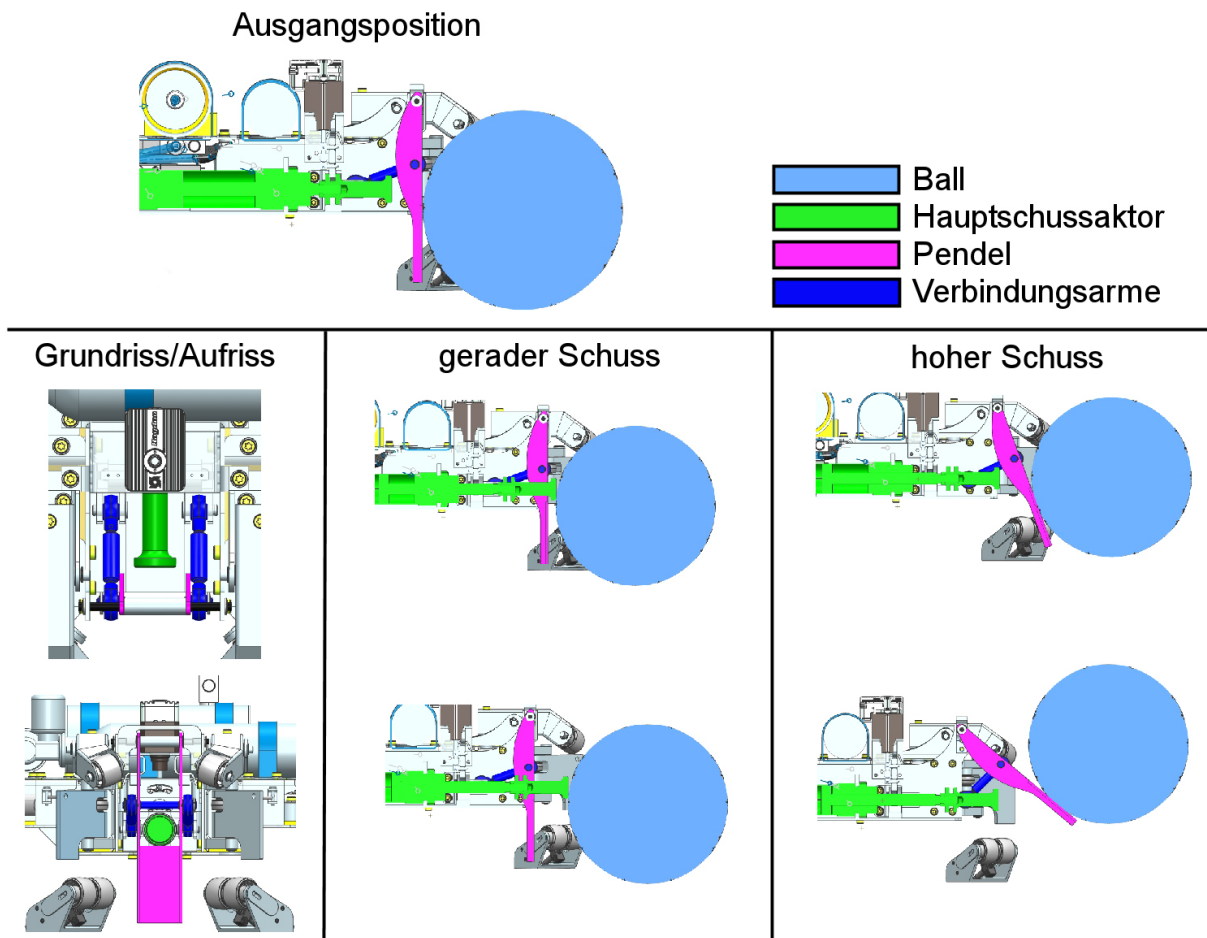


Abbildung 32: Gegenüberstellung der Geometrie beim geraden und hohen Schuss

3 Praktische Grundlagen

Das folgende Kapitel gibt Auskunft über den Stand der Technik in der Middle-Size-League und beschreibt, ausgehend vom Lastenheft, die durchgeführten praktischen Versuche zu den Themen Schussverhalten und Aktorik. Außerdem erfolgt eine detaillierte Betrachtung der pneumatischen Komponenten.

3.1 Das Lastenheft

Basierend auf den theoretischen Grundlagen zeigt nachfolgendes Diagramm die Hebel für eine erfolgreiche Modulkonzeption. Diese Hebel sind nach dem erwarteten Erfolgseinfluss (Nutzen) und dem Aufwand der Umsetzung gegliedert.

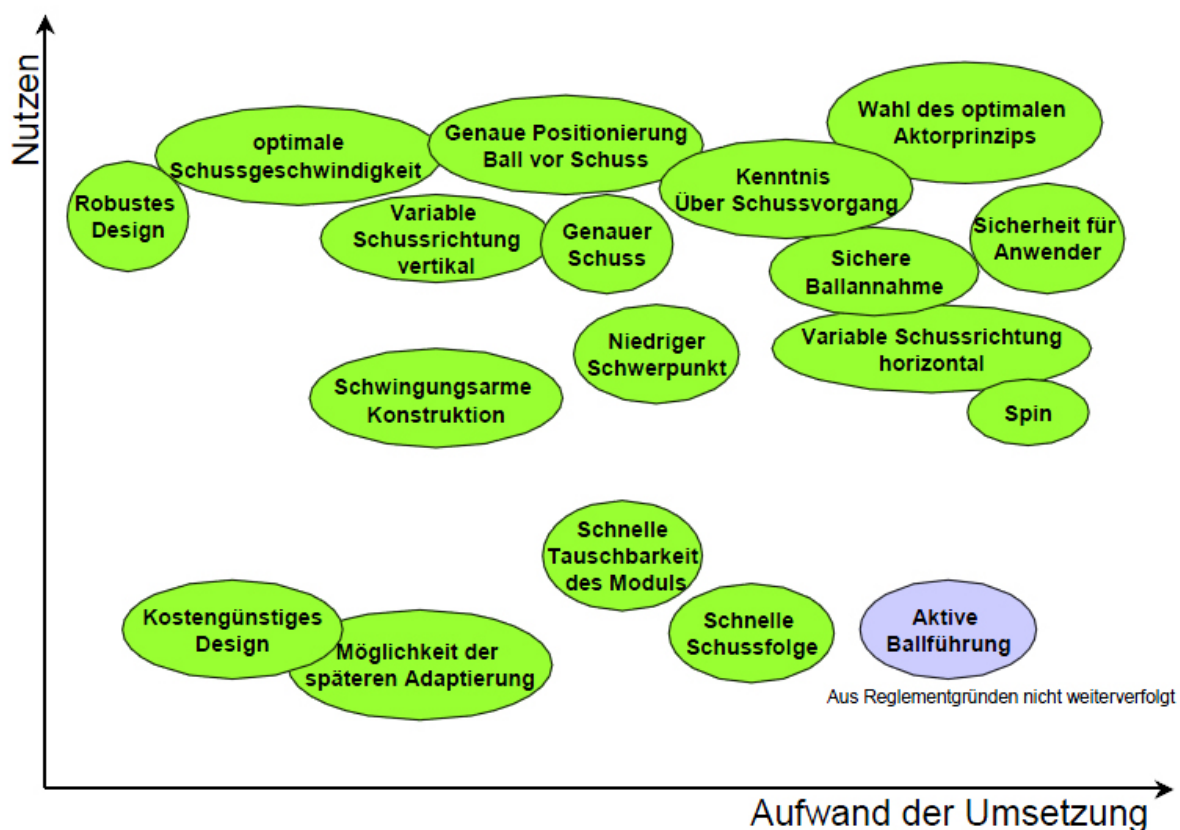


Abbildung 33: Modulaspekte

Das Thema der aktiven Ballführung wird dabei aus strategischen Gründen (es ist anzunehmen, dass diese Form der Ballführung in absehbarer Zeit vom Reglement verboten wird) nicht genauer betrachtet, allerdings soll die Möglichkeit des Nachrüstens eines solchen Systems berücksichtigt werden.

Als zentraler Erfolgsfaktor wird die Wahl des optimalen Aktorprinzips identifiziert (siehe Kapitel 2.4). Weiters sind eine breite Schussparametervariation im Spielbetrieb sowie eine sichere Ballführung zu berücksichtigen.

Letztendlich spielen aber auch Themen wie Anwender- und Betriebssicherheit, Modularität, Gewicht, Preis und eine optimale Dämpfung eine wichtige Rolle.

3.2 Analyse der bestehenden Generation und der Mitbewerber

Die RoboCup Middle-Size-League ist ohne Zweifel eine der mechanisch aufwendigsten und dadurch kostenintensivsten Ligen. Es ist wichtig ein gut abgestimmtes Fahrwerk, robustes Design oder schnelles Austauschen fehlerhafter Teile zu realisieren - in den letzten Jahren hat sich vor allem in den Bereichen Ballführung und Schussvariabilität eine sehr rasante Entwicklung hin zu ausgeklügelteren mechanischen Lösungen vollzogen.

Grund dafür ist eindeutig der Umstand, dass mittlerweile die Grenzen des Reglements so weit ausgeschöpft sind, dass es nur mehr mit Hilfe ausgereiften Fachwissens möglich ist, neue konstruktive Konzepte, die sich innerhalb des Erlaubten befinden, zu realisieren.

Dabei ist klar erkennbar, dass die meisten RoboCup Teams, die historisch bedingt zu einem großen Teil aus Studenten der Studienrichtungen Telematik, Elektrotechnik oder Softwareentwicklung bestehen, immer mehr Maschinenbaustudenten aufnehmen.

Die Vorreiterrolle in dieser Hinsicht hat das Team „Tech United“ der Universität Eindhoven inne, eine Gruppe, die ausschließlich aus Maschinenbaustudenten besteht und daher äußerst fortgeschrittene mechanische Lösungen einsetzt.

Ein weiteres Beispiel stellt das Team „Cambada“ der Universität Aveiro (Portugal) dar, das es mit vergleichsweise einfacher Mechanik geschafft hat, in den letzten drei Jahren ein ständiger Vertreter am Podium der RoboCup Weltmeisterschaften zu sein.

Außerdem soll im Folgenden das Konzept des Teams „Carpe Noctem“ näher betrachtet werden, da dieses von der klassischen Betrachtungsweise, nur eine Ballannahme beziehungsweise Schussvorrichtung am Roboter zu montieren abweicht und mit drei simultanen Ballführungsmodulen ausgestattet ist (Multi-Vektor Kicker).

Nachfolgend werden die eben genannten Konzepte mit der aktuellen, zweiten Generation der Fußballroboter des Mostly Harmless RoboCup Teams der Technischen Universität Graz verglichen.

3.2.1 Mostly Harmless RoboCup Team

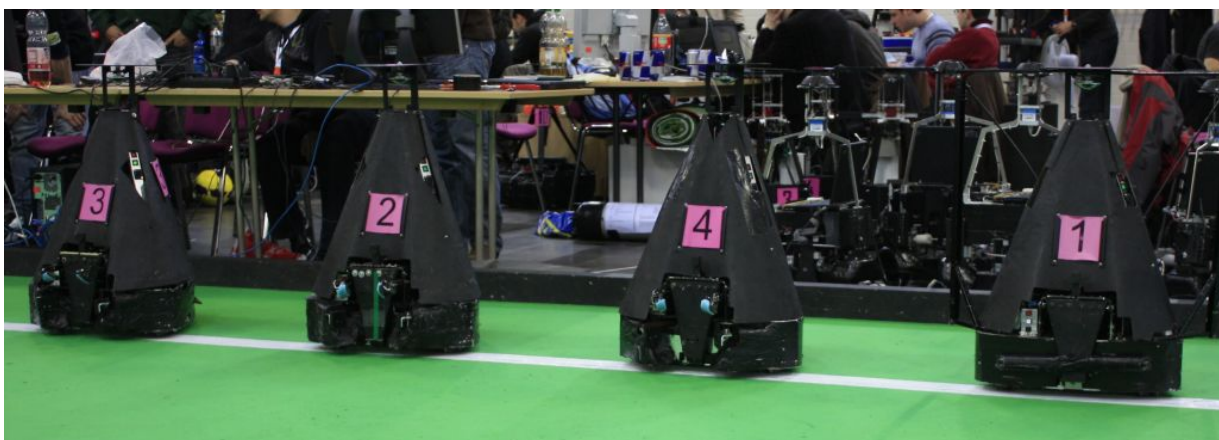


Abbildung 34: Mostly Harmless Krikkit 2G³⁴

³⁴[INTERNET, Mostly Harmless, 2010]

Die aktuelle Ballführung des Mostly Harmless Teams besteht aus vier zentral am vorderen Fahrwerk angebrachten Kragarmen, die mit Hilfe von Bürstenaufsätzen den Ball vor dem Roboter herschieben (siehe Abbildung 67, Seite 70). Der größte Nachteil dieses Aufbaus ist der Umstand, dass der Ball genau zwischen den beiden fix montierten Kragarmen platziert werden muss, um ihn sicher zu führen. Zusätzlich kommt es immer wieder vor, dass durch die Drehung des Balles, verursacht durch die Reibung zwischen Ball, Untergrund und Führung, der Ball eine Relativgeschwindigkeit zum Roboter entwickelt und dieser wiederum dadurch auf dem Ball aufsitzt.

Außerdem ist die Ballführung so eng bemessen, dass im Falle einer Schussabgabe nur eine Schussrichtung (gerade nach vorne) möglich ist. Die Möglichkeit einer variablen, horizontalen Schussrichtungseinstellung bleibt damit verwehrt.

Ein weiteres großes Problem stellt die Führung des Balls beim Verzögern des Roboters dar. Da es keine Möglichkeit gibt, eine vertikale Kraftkomponente auf den Ball aufzubringen, wirkt nur die Reibung zwischen Ball und Spielfeld bremsend auf das Spielgerät. Da diese Kraft um einiges geringer als die Verzögerung des Roboters ist, rollt der Ball aus der Führung.

Die Schussaktorik ist mit Hilfe eines pneumatischen Systems gelöst. Dieses wird von einer mit 200bar aufgeladenen Notfalldruckluftflasche aus dem Tauchsport versorgt, beinhaltet einen 1,2l fassenden Zwischentank, um den Druck für mehrere, knapp aufeinander folgende Schüsse aufrechtzuhalten und damit die Engstelle, die das Druckreduzierventil an der Druckluftflasche darstellt weitestgehend zu kompensieren.

Dieser Zwischentank wiederum versorgt einen Schusszylinder, der, zentral am Roboter angebracht, bei Betätigung mit voller Kraft auf ein vertikal montiertes Pendel trifft. Dieses Pendel wiederum beschleunigt den Ball auf die vorgesehene Geschwindigkeit.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Nachteile dieses Systems in vielen verschiedenen Bereichen liegen, die sich zu einem gewissen Grad überlagern und dadurch den nicht zufriedenstellenden Gesamteindruck erzeugen.

Als erstes wurden, um den beschränkten Bauraum möglichst platzsparend auszunützen, an verschiedenen Stellen rechte Winkel in die pneumatischen Leitungen eingebaut. Laut Franz Nagelreiter, Leiter der Systemtechnik bei der Firma FESTO Österreich AG³⁵), führt, auf Grund des Fluidstaus, der Einsatz solcher Winkel in der Regel zu einem Verlust von ungefähr 25 Prozent des Durchflusses. Besonders auffällig ist dabei die Verbindungsstelle zwischen den beiden Zwischentankhälften. Hier wird die Luft aus dem ersten Tank über zwei Winkelstücke in den zweiten Behälter geführt, was den Einsatz des ersten Behälters auf Grund des Nadelöhrs obsolet macht. Zusätzlich besitzt der aktuelle Schusszylinder weder eine aktive, noch eine passive Endlagendämpfung, was zu einem harten Endanschlag und damit ungewollten Erschütterung der, am höchsten Punkt des Roboters angebrachten, Orientierungskamera führt. Auch eine über die Ventilschaltzeit geregelte Schussstärkeneinstellung kann momentan nicht realisiert werden, da dies erst ab einem Arbeitsdruck von ungefähr 5bar sinnvoll durchzuführen ist, der Arbeitsdruck am Roboter allerdings 3bar nicht überschreiten darf, da es sonst zum Lösen verschiedener elektronischer Steckverbindungen kommen kann.

Vor allem bereitet aber die Anordnung des Schusszylinders zur Aktorplatte Probleme. Zum einen

³⁵[INTERVIEW, Nagelreiter, FESTO Österreich AG, Oktober 2010]

ist die Kraft des Zylinders, die über die Stößelspitze übertragen wird, zu groß um die Platte im dauerhaftesten Bereich zu betreiben. Es kam somit schon öfter vor, dass der Stößel das aus 3mm dickem Stahlblech gefertigte Schusspendel durchschlug. Zum anderen ist das Pendel so konzipiert, dass ein effektiver, hoher Schuss ebensowenig möglich ist, wie ein kontrollierter, gerader Schuss. Der Ball springt unvorhersehbar vom Pendel ab und schafft es weder genug Höhe zu erlangen um etwaige Gegner zu überheben, noch im Falle eines Passes diesen kontrolliert zum Mitspieler abzugeben. Abschließend tritt noch ein etwas komplexer Effekt auf, der das Verhalten und vor allem die Reproduzierbarkeit des Schusses massiv beeinflusst.

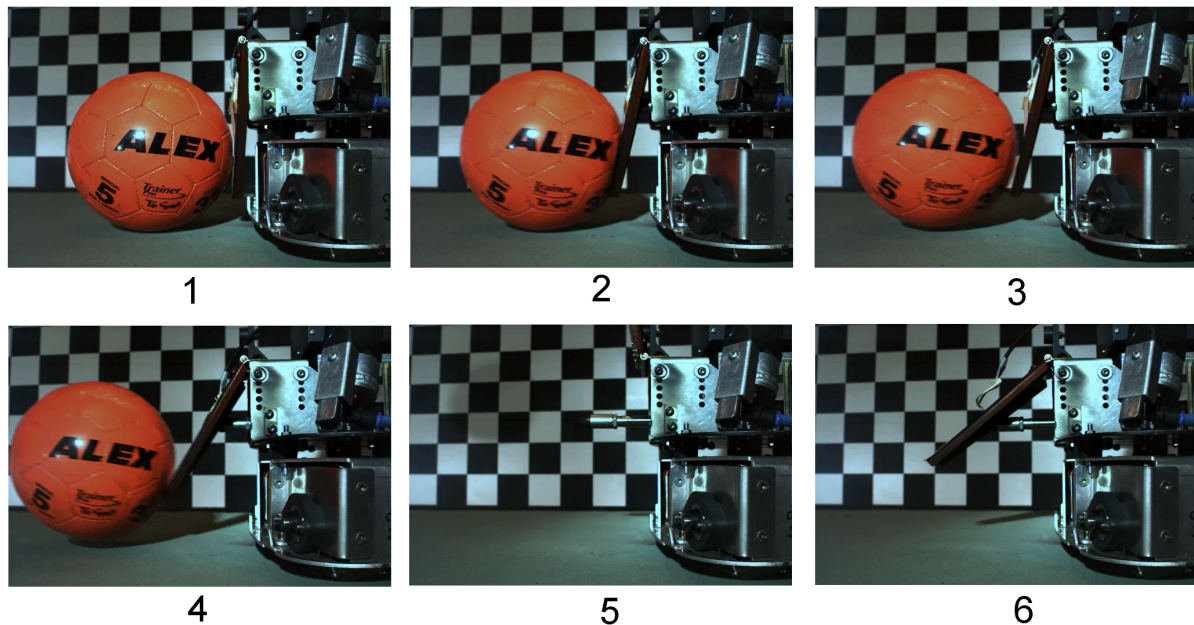


Abbildung 35: Ablauf des aktuellen Schussvorgangs³⁶

Betrachtet man den Schussvorgang mit Hilfe einer High-Speed-Kamera (Abbildung 35) ist zu erkennen, dass es zu einem doppelten Kontakt zwischen dem Pendel und dem Ball kommt. Dies rührt daher, dass der Schusszylinder das Pendel beschleunigt und dieses durch den davor liegenden Ball einen Gegenimpuls (Abb. 35.2) erfährt. Zusätzlich wird der Ball komprimiert und dadurch ein nicht unerheblicher Teil der Pendelenergie in ihm gespeichert. Entspannt sich der Ball wieder wird diese Energie wieder frei, der Ball beschleunigt, im Zylinder ist der Versorgungsdruck aber bereits so weit gesunken, dass dieser die Geschwindigkeit des Balles nicht mehr erreicht und somit den Kontakt verliert (Abb. 35.3). Erst am Ende des Kickvorganges, wenn der Druckluftstrom in die Zylinderkammer nachgedrückt wird, beschleunigt der Stößel noch einmal und holt den Ball wieder ein (Abb. 35.4). Dieser Effekt ist nicht genau reproduzierbar, da er sehr von der Geometrie, der Temperatur und der exakten Ausgangslage des Balles abhängt.

Man erkennt allerdings, dass ab einem Arbeitsdruck von zirka 4,5bar der Effekt in den Hintergrund gedrängt wird und das Pendel und der Ball ständig in Berührung bleiben, da die Druckluft schnell genug nachströmen kann.

³⁶[MOSTLY HARMLESS, Ablauf des aktuellen Schussvorgangs, 2008

3.2.2 Tech United (Eindhoven, Niederlande)



Abbildung 36: Roboter des Tech-United Teams

Die Universität Eindhoven pflegt eine lange Tradition in der Robotikforschung und beschäftigt gleich mehrere Teams im Rahmen der Robocup-Bewerbe. Das längstgediente Team spielt seit 2005 mit ihren Robotern, den so genannten „Turtles“ in der Middle-Size-League. Das Team besteht zu einem großen Teil aus Professoren, Dissertanten und Studenten der Fachrichtung Maschinenbau und hat vor allem die finanziellen Möglichkeiten, jedes Jahr eine neue Generation Roboter entwickeln zu können.

Dadurch war es möglich zu einem der erfolgreichsten Teams des Bewerbs aufzusteigen und in vielen Bereichen die fortschrittlichste Technik zum Einsatz zu bringen. Eine der revolutionärsten Erfindungen des Teams ist zweifelsohne der Einsatz einer aktiven Ballführung. Diese wird von zwei über Gasdruckfedern gelagerte, von jeweils einem Gleichstrom-

motor angetriebenen Rädern bewerkstelligt, die dem Ball, sobald er in ebendieser Führung detektiert wird, eine Drehbewegung entgegengesetzt der Fahrtrichtung aufprägt. So ist es dem Team möglich, beim Rückwärtsfahren den Ball nachzuziehen. Dies bietet vor allem die Möglichkeit, den gegnerischen Robotern die Sicht auf den Ball zu nehmen und so ungestört in Richtung des gegnerischen Tores zu fahren. Diese Neueinführung brachte dem Team einen so großen Vorteil, dass im Jahr 2010 das Reglement dahingehend angepasst wurde, dass eine Rückwärtsfahrt mit diesem System nur mehr über eine Strecke von 2m gestattet ist³⁷. Insgesamt ist die Bauform des Tech United Roboters auf höchstem Niveau integral ausgeführt, was dazu führt, dass viele Anwendungen auf Grund des Modularitätsgedanken nicht in der Neukonstruktion der Ballführung des Mostly Harmless Teams übernommen werden können.

Besonders hervorzuheben ist, außer der Ballführung, noch der ausgeklügelte Schussmechanismus. Dabei ist es möglich, über einen Seilzug das zentral gelagerte Pendel vertikal anzuheben beziehungsweise zu senken und so den Berührungspunkt zwischen Pendel und Ball zu verändern. Dieser Mechanismus hat sich als sehr vorteilhaft erwiesen, da man den Aktor, einen Gleichstrommotor, an einer geschützten Stelle im Inneren des Robotergehäuses platzieren kann.

Abschließend sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass Tech United, so wie viele andere Teams der Middle-Size, nicht auf pneumatische Systeme zur Realisierung des Schussvorgangs zurückgreift, sondern eine Zylinderspule als Aktor einsetzt.

³⁷[ROBOCUP, Rules and Regulations, 2011]

3.2.3 Carpe Noctem (Kassel, Deutschland)

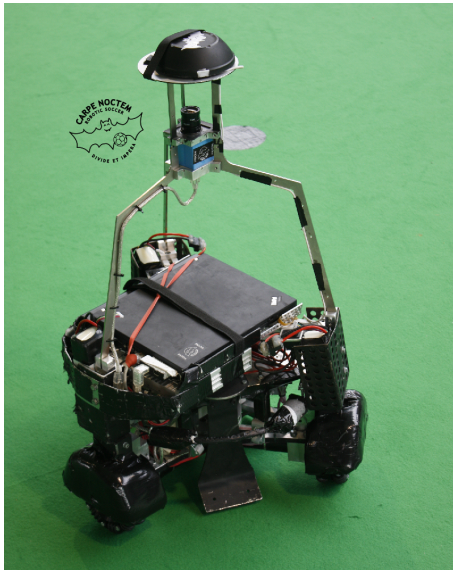


Abbildung 37: Roboter des Carpe Noctem Teams

Das Team Carpe Noctem der Universität Kassel setzt bei seiner aktuellen Robotergeneration als eines von wenigen Teams auf einen Multi-Vektor Kicker. Diese in einem Winkel von 120° angeordneten Kick- und Ballführungsmechanismen erlauben es dem Roboter, ohne aufwendige Rotationsbewegungen den Ball anzunehmen. Die einzelnen Module des Kickers besitzen jeweils eigene Aktoren und sind auf jeder Seite mit verschiedenen Schusspendelgeometrien ausgerüstet. Zusätzlich sorgt ein quer über dem Ball beweglich gelagertes Stahlseil dafür, dass der Ball in der Führung bleibt. Allerdings wird für den Vorteil der schnelleren Ballannahme ein hoher Preis gezahlt. Zum einen ist die Wartung von drei Schussmechanismen mit zugehörigen Aktoren sehr aufwendig und kostspielig, zum anderen kommt es aber vor allem zu einer Verlagerung des Roboterschwerpunkts nach oben was wiederum dazu führt, dass der Roboter bei abrupten Verzögerungsmanövern oft von selbst umkippt.

Diesem Effekt kann nur mit Hilfe einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit entgegengewirkt werden.

Aus ebendiesen Gründen hat das Team aus Kassel in der Saison 2011 beschlossen, auf eine neue Plattform umzusteigen, die nun dem allgemeinen Prinzip der Middle-Size Konstruktion mit einer Grundplatte und einseitiger Ballführung folgt. Allerdings ist hier zu bemerken, dass die mechanische Güte der ersten beiden Prototypen mangelhaft ist und erfolgsrelevante Komponenten, wie etwa das Schusspendel, regelmäßig, auf Grund falscher Auslegung, mechanisch versagen.

3.2.4 Cambada (Aveiro, Portugal)

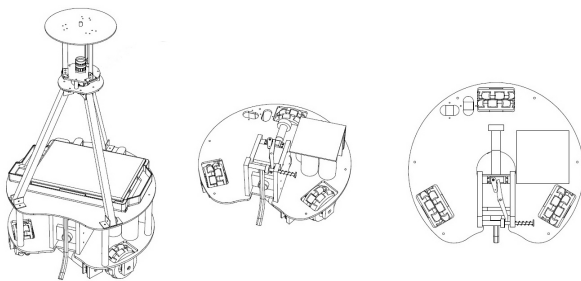


Abbildung 38: Roboter des Cambada Teams³⁸

Das Team Cambada der Universität Aveiro verfolgt einen äußerst interessanten Ansatz beim Bau ihrer Middle-Size Fußballroboter. Die Plattform der Portugiesen ist zum einen modular aufgebaut, das heißt, man kann das Fahrwerk und den Ballhandlingmechanismus sehr leicht von Computer und Kameraaufbau trennen, zum anderen sind diese Module wiederum so einfach wie möglich ausgeführt. Cambada verfügt nicht nur über eine äußerst rudimentäre Ballführung, die im Wesentlichen aus einer zentralen, nicht angetriebenen, federgeführten Rolle sowie zwei seitlichen, kleineren Führungsrollen besteht, son-

³⁸[CAMBADA, Mechanical Description Paper 2010]

dern hat auch einen sehr einfachen und effektiven Weg gefunden, zwischen hohem Kick und Passspiel umzuschalten.

Mit dieser Technik konnte das Team den portugiesischen Meistertitel, Platz zwei bei den offenen deutschen Meisterschaften und den dritten Platz bei der Weltmeisterschaft in Singapur 2010 erreichen. Im Jahr 2011 hat man sich nun, wie viele andere Teams auch, dazu entschlossen, die zentrale Führungsrolle auch durch zwei aktive Ballführungsarme zu ersetzen³⁹.

3.3 Versuche zur Schusstechnik

Um die unter Kapitel 2 besprochenen theoretischen Grundlagen empirisch zu belegen, ist es notwendig einen möglichst universalen Prüfstand zur Simulation von hohen wie auch geraden Schüssen zu konzipieren.

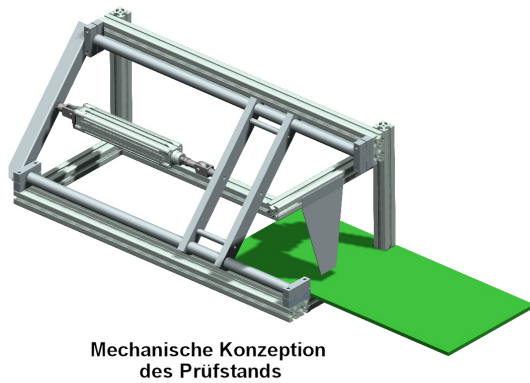
Dabei gilt es vor allem, herauszufinden welche mechanischen Prinzipien sich für die jeweilige Schusssituation als vorteilhaft erweisen. Im nachfolgenden Abschnitt soll zuerst die Konstruktion des Prüfstands erörtert und darauffolgend die erzielten Ergebnisse genauer erläutert werden.

3.3.1 Mechanischer Aufbau des Kickprüfstands

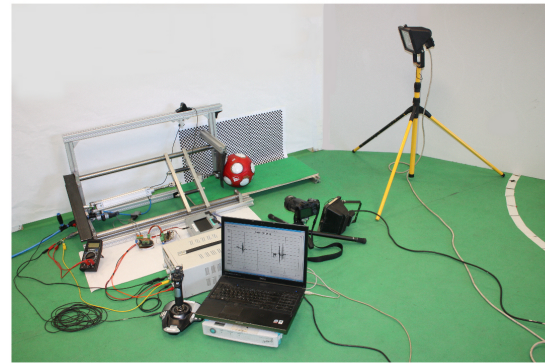
Die wichtigsten Eigenschaften des Kickprüfstands sind die Möglichkeit, einen sehr raschen Wechsel zwischen den verschiedenen Versuchsaufbauten bei möglichst niedrigen Gesamtkosten zu erzielen. Um diese Kriterien zu erfüllen wurde die pneumatische Aktorik eines bestehenden Roboters der zweiten Generation Krikkit Roboter auf einem linear über Kunststoffgleitlager geführten Schlitten befestigt. An diesem Schlitten wiederum können alle gewünschten Schusselementsgeometrien befestigt werden. Der Hauptaktor, ein Pneumatikzylinder der Firma FESTO, stützt sich auf einem U-Profil aus Stahl ab und ist über Gelenksköpfe gelagert, um etwaigen Achsversatz auszugleichen.

Der Rahmen besteht aus Standardprofilen und ist am Hallenboden verschraubt. An eben diesem Rahmen ist ein Kragarm befestigt, an dem die Pendelkonstruktionen für hohe Schussversuche befestigt werden können. Die Geometrie des Kickprüfstands ist dem aktuellen Roboter nachempfunden, das heißt der Ball wird zentrisch vom Hauptaktor getroffen, und ebenso bei jedem Schussversuch zentral vor dem Schusselement platziert. Außerdem ist der Untergrund mit dem aktuell bei RoboCup-Turnieren verwendeten Rasenteppich überzogen.

³⁹Vgl. [CAMBADA, Team Description Paper, 2011]



Mechanische Konzeption
des Prüfstands



Versuchsaufbau

Abbildung 39: Aufbau des Kickprüfstands

Beim Durchführen der Versuche zeigt sich, dass die Grundkonstruktion sehr robust ist und sich wenig verformt, allerdings der Kragarm zur Befestigung des Pendelelements erheblichen Schwingungen in den Endlagen unterworfen wird. Da diese Schwingungen allerdings nach dem Schussvorgang im Endanschlag auftreten, beeinflussen sie die Ergebnisse der Versuche nicht.

Zusätzlich muss auch angemerkt werden, dass die Idee einen Linearschlitten einzusetzen als nicht vorteilhaft anzusehen ist, da durch die Montagetoleranz eine erhöhte Reibung in den Kunststoffgleitlagern auftritt, was wiederum zu einer erheblichen, dem Schuss entgegenwirkenden Kraft führt. Dieser Umstand bedeutet zwar, dass es nicht möglich ist, die Ergebnisse direkt auf die kinematische Auslegung des neuen Roboters umzulegen, allerdings wirkt die Reibkraft bei allen Versuchsreihen in gleichem Maße und erhält damit die Vergleichbarkeit der einzelnen Methoden. Letztendlich werden die einzelnen Versuchsreihen mit einer High-Speed Kamera aufgenommen und mit Hilfe eines schwarz weiß Rasters von 10mm Auflösung ausgewertet.

3.3.2 Die Versuchsreihen im Detail

Ziel des Versuchsaufbaus ist es, herauszufinden mit welchem Schusselement zum einen ein gerader Schuss oder Pass und zum anderen ein hoher, kräftiger Schuss am besten realisiert werden kann. Dafür werden die Schussversuche mit einer High-Speed-Kamera (Auflösung 600 Frames/Sekunde) aufgezeichnet, die Anfangsgeschwindigkeit in horizontaler und vertikaler Richtung über die ersten 10ms linear approximiert und die Beschleunigung des Stoßelements mit Hilfe eines einachsigen Beschleunigungssensors gemessen. Alle Versuche werden außerdem bei 4bar, 5bar, 6bar, 7bar und 8bar durchgeführt, um herauszufinden wie der höhere Arbeitsdruck sich auf das Gesamtverhalten des Schusses auswirkt. Zusätzlich wird auch die Eindringtiefe sowie Berührzeit des Schusselements mit dem Ball ermittelt, um eine Aussage über die zu bevorzugende Geometrie des Schusselements, sowie die Anordnung zum Ball treffen zu können.

Zuletzt wird der Ball in jeder Versuchsreihe in verschiedenen Abständen zum Stoßelement platziert, um zu erkennen, ob es für die Abschussgeschwindigkeit des Balles besser ist, eine hohe Geschwindigkeit über einen kurzen Zeitraum oder eine stetige Beschleunigung des Stoßelements auf den Ball wirken zu lassen.

Als übergeordnete subjektive Kriterien sind beim geraden Schuss vor allem Präzision und An-

fangsgeschwindigkeit bevorzugt zu behandeln. Beim hohen Schuss ist neben der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit vor allem die erreichte Schusshöhe zu beachten.

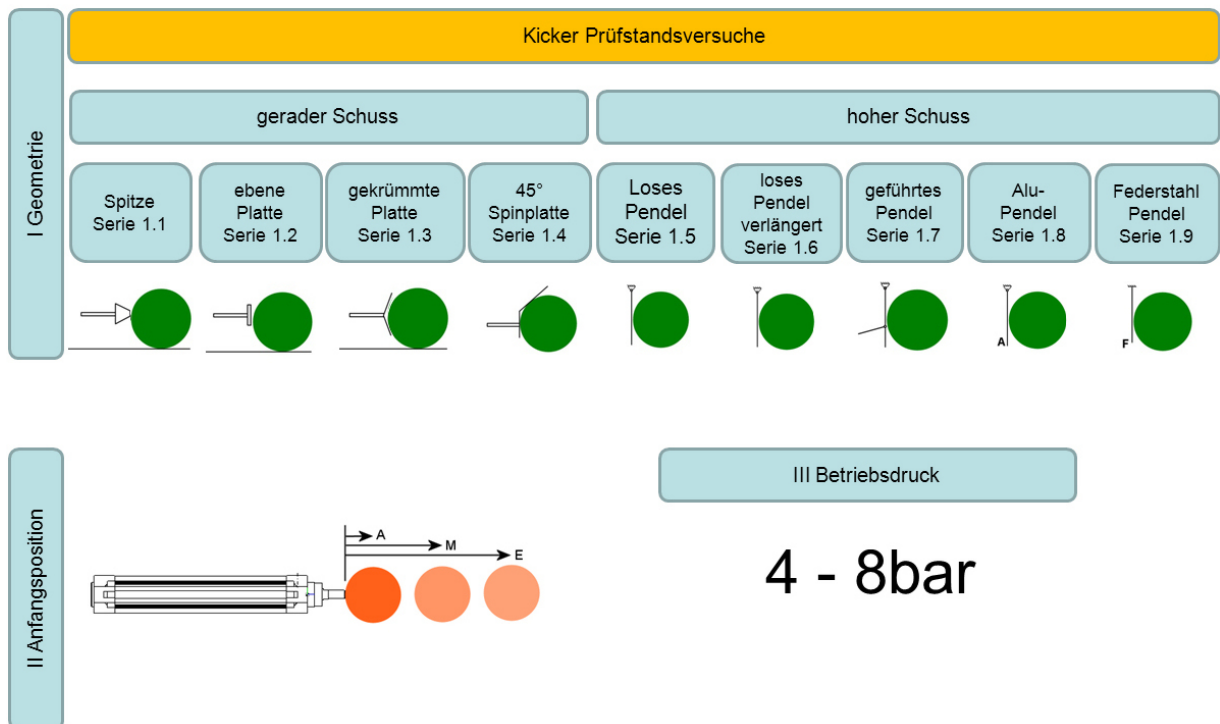


Abbildung 40: Versuchsstruktur des Kickprüfstands

Für den **geraden Schuss** werden folgende Geometrien getestet:

- Spitze: Die Spitze soll möglichst tief in den Ball eindringen und so die Berührzeit beim Stoß verlängern, damit mehr Energie übertragen werden kann. Für den Versuchsaufbau wird die aktuell in der zweiten Roboter-Generation verwendete Gummispitze eingesetzt.

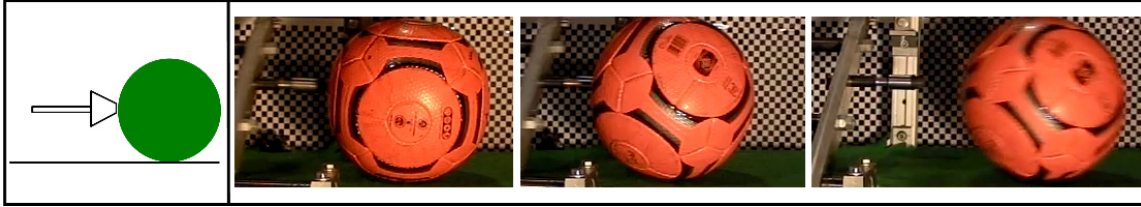


Abbildung 41: High Speed Aufnahmen mit Spitze

Da die Spitze einen langen Kragarm darstellt, tritt der bereits in Kapitel 2.1 auf Seite 8 beschriebene Effekt des biegeschwingenden Stabes auf. Diese, durch Querbelastung zufolge des unrunder Balles auftretende Schwingung ist aufgrund ihrer hohen Amplituden sehr unvorteilhaft, da sie die am Stoß beteiligten Bauteile stark belastet und dadurch das Risiko von Bauteilausfällen erheblich steigern.

Diese Schwingung liegt, wie die Abbildung 9 auf Seite 12 zeigt im Bereich einer Periodendauer von 1,5 bis 2ms.

Natürlich werden weitere, hochfrequente Schwingungen durch andere Effekte verursacht, allerdings liegen dort keine so großen Amplituden vor. Deshalb werden sie an dieser Stelle nicht weiter betrachtet.

Vereinfacht man nun den Aufbau des Kragarms mit Elastomerspitze und benutzt die Lösungen der partiellen Differentialgleichungen aus Tabelle 8, kann man unter Verwendung der Formel

$$\omega = \gamma^2 \times \sqrt{\frac{E \times I}{\rho \times A}}$$

eine Näherung für die Eigenschwingungsdauer des Systems zufolge der Biegebelastung errechnen. Diese ergibt sich zu 1,3ms und dadurch liegt die Annahme nahe, dass diese Beanspruchung den Grund für die hochamplitudigen Schwingungen darstellt.

Der errechnete Wert weicht deshalb vom gemessenen ab, da zusätzlich zur Biegebelastung auch der Einfluss der Druckbelastung des Stoßprozesses wirkt, die genauen Materialeigenschaften der Gummispitze nicht bekannt sind und bei der Erstellung des gebildeten Modells einige Vereinfachungen vorgenommen werden. (Siehe Anhang für Details der Berechnung)

- Ebene Platte: Die ebene Aluminiumplatte soll im Gegensatz zur Spitze den Ball so wenig wie möglich verformen.

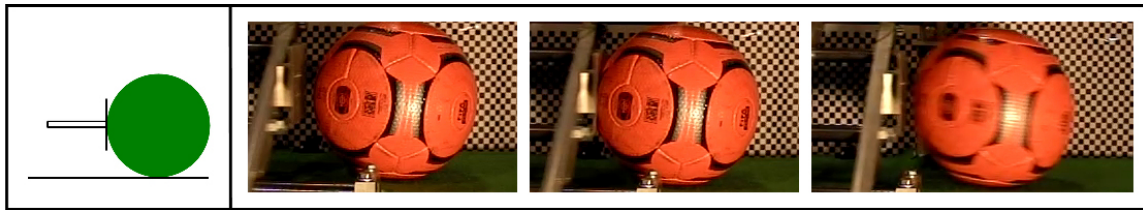


Abbildung 42: High Speed Aufnahmen mit ebener Fläche

Vergleicht man die ebene Platte, bei der das Einleiten von Querkräften in keinem großen Ausmaß stattfinden kann, mit dem Versuch des Kragarms mit Elastomerspitze, so erkennt man an Hand von Abbildung 10 sehr gut, dass auch die hochamplitudigen Schwingungen ausbleiben. Eine große Berührfläche bedeutet also weniger Belastung für die am Stoßprozess beteiligten Bauteile, reduziert allerdings auch wesentlich die Berührzeit und die damit verbundene Energieübertragung.

- Gekrümmte Platte: Das Prinzip der gekrümmten Aluminiumplatte soll dafür sorgen, dass der Ball eine definierte Schussrichtung einhält und reproduzierbarer wird. Das Problem dieser Versuchsanordnung liegt allerdings darin, dass die geometrische Auslegung der gebogenen Platte nicht perfekt auf jeden Ball passt, was wiederum zum Induzieren von Querkräften führt und oben erläuterte Schwingung hervorruft.
- Spinplatte: Dieser Versuch distanziert sich ein wenig von den Grundüberlegungen der ersten drei Anordnungen. Es wird versucht, mittels einer um 20° zum Schuss ausgelenkten Ebene dem Ball zuerst eine Rotation um seine eigene Achse aufzuprägen, um ihn am Ende des Schussvorgangs mittels eines geraden Schusselements (ähnlich ebener Platte) zu beschleunigen. Problematisch bei diesem Versuch ist der Umstand, dass die Reibung zwischen dem geraden Schusselement und dem Ball der Rotation entgegenwirkt und damit einen nicht zu unterschätzenden Anteil des Spins kompensiert. Als Ziel für diesen Versuch wird angenommen, dass es mit dem erreichten Spin möglich sein muss, einen 2m entfernten gegnerischen Roboter umschießen zu können. Die Versuche ergeben dabei, dass dies möglich ist, allerdings muss die um 20° geneigte Ebene entsprechend lang sein, um dem Ball genug Drehung aufzuprägen. Der hierbei benötigte Bauraum ist um ein Vielfaches größer als der vorhandene Platz im Modul, was zu dem Entschluss führt die Idee dem Ball Spin aufzutragen mit Hilfe anderer Methoden zu bewerkstelligen, die in Kapitel 4.7 genauer dargestellt werden.

Für den **hohen Schuss** werden folgende Geometrien getestet:

- Loses Pendel: Diese Versuchsanordnung ist dem aktuellen Aufbau nachempfunden. Dabei hängt ein drehbar gelagertes Pendel frei zwischen Zylinder und Ball. Wird der Zylinder betätigt, trifft er zuerst auf das Pendel und dann wiederum auf den Ball.

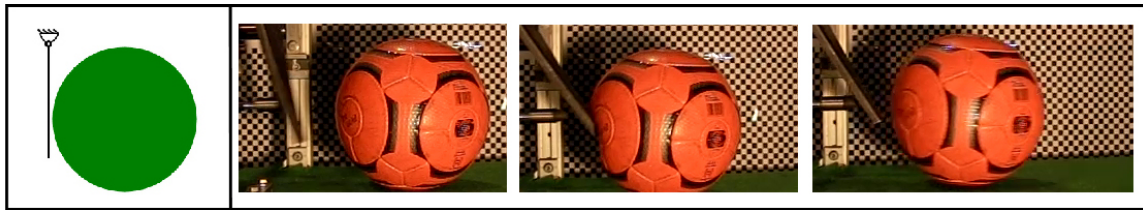


Abbildung 43: High Speed Aufnahmen mit altem Pendel

Dabei treten die in Kapitel (3.2.1) beschriebenen, ungünstigen Effekte der Doppelberührung und des Endanschlags auf.

- **Loses verlängertes Pendel:** In einem ersten Schritt wird das Pendel, bei gleichbleibender Drehachse, bis zu einem Abstand von nur mehr 10mm über dem Boden verlängert. Durch diesen Versuch soll der Einfluss des Angriffspunktes zwischen Pendel und Ball ermittelt werden. Man erkennt sehr deutlich, dass ein längeres Pendel, und der damit einhergehende längere Abrollweg des Balles am Pendel sich sehr stark positiv auf die erzielte Schusshöhe des Balles auswirken, da dieser länger beschleunigt werden kann und dadurch auch das Pendel zum Zeitpunkt des Kontaktverlustes mit dem Ball in einem steileren Abschusswinkel steht.
- **Geführtes Pendel:** Ein großes Problem des Aufbaus mit losem Pendel ist der Umstand, dass das Pendel nach dem erfolgten Stoßvorgang mit dem Ball weiter um die Drehachse rotiert bis es zu mechanischem Kontakt mit dem Gehäuse des Roboters kommt (siehe Abbildung 35.5, Seite 42). Dieser zweite Stoßvorgang zwischen Pendel und Roboter verursacht wiederum starke Erschütterungen, die einen äußerst negativen Einfluss auf das Kamerasystem, welches dem Roboter autonomes navigieren ermöglicht, nimmt.

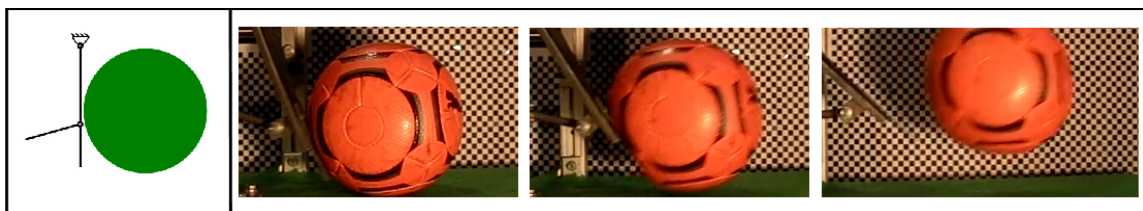


Abbildung 44: High Speed Aufnahmen mit geführtem Pendel

Aus diesem Grund soll der Zylinderstößel mechanisch mit dem Pendel verbunden werden, um, den in der Endlage auftretenden Stoß, im Zuge der Endlagendämpfung des Zylinders abzufangen.

- **Aluminiumpendel:** Dieser Versuch soll als Grundlage zu Überlegungen der Einführung eines Festkörpergelenks als Stoßelement dienen. Dabei wird ein Pendel aus zwei Millimeter dünnem Aluminiumblech anstelle des bisher verwendeten gelagerten Stahlpendels verwendet. Es zeigt sich im Rahmen der Versuche allerdings sehr schnell, dass eine solche Anordnung wenig praktischen Nutzen hat, da, auf Grund des großen Auslenkwinkels, die plastische Verformung zu groß ist und das Aluminiumpendel einerseits im nichtgeführten Zustand nicht

mehr in die Ausgangslage zurückschwingt, andererseits im geführten Zustand knapp unterhalb der Montagepunkte bricht.

- Federstahlpendel: Die logische Weiterentwicklung des Aluminiumpendels stellt ein Pendel aus Federstahl dar. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass durch eine geeignete Vorspannung des Federstahls zusätzliche Verformungsenergie in das System eingebracht werden kann. Im laufenden Versuch hat sich allerdings gezeigt, dass durch die dynamischen Vorgänge beim Schuss das Federstahlpendel nicht nur in die vorbestimmte Richtung belastet wird und es deswegen zum plötzlichen Spröbruch kommt.

3.3.3 Auswertung der Versuche

Nachfolgend soll die Absolutgeschwindigkeit (Vertikal- und Horizontalanteil berücksichtigt) über dem Betriebsdruck angeführt werden. Diese Auswertung wird für die drei vorher festgelegten Abstände zwischen Zylinderstößel (in Ausgangslage) und Ball von 0mm, 60mm und 120mm vorgenommen. Die Abstände ergeben sich aus dem Umstand, dass der Aktorzylinder 125mm Verfahrweg realisieren kann. Der Stößel trifft also einmal sofort, einmal auf halbem Verfahrweg und einmal kurz vor dem Endanschlag auf den Ball.

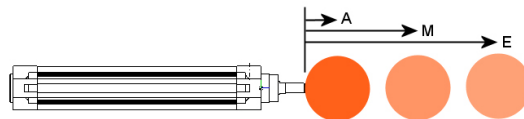


Abbildung 45: Lage des Balls zum Schusselement

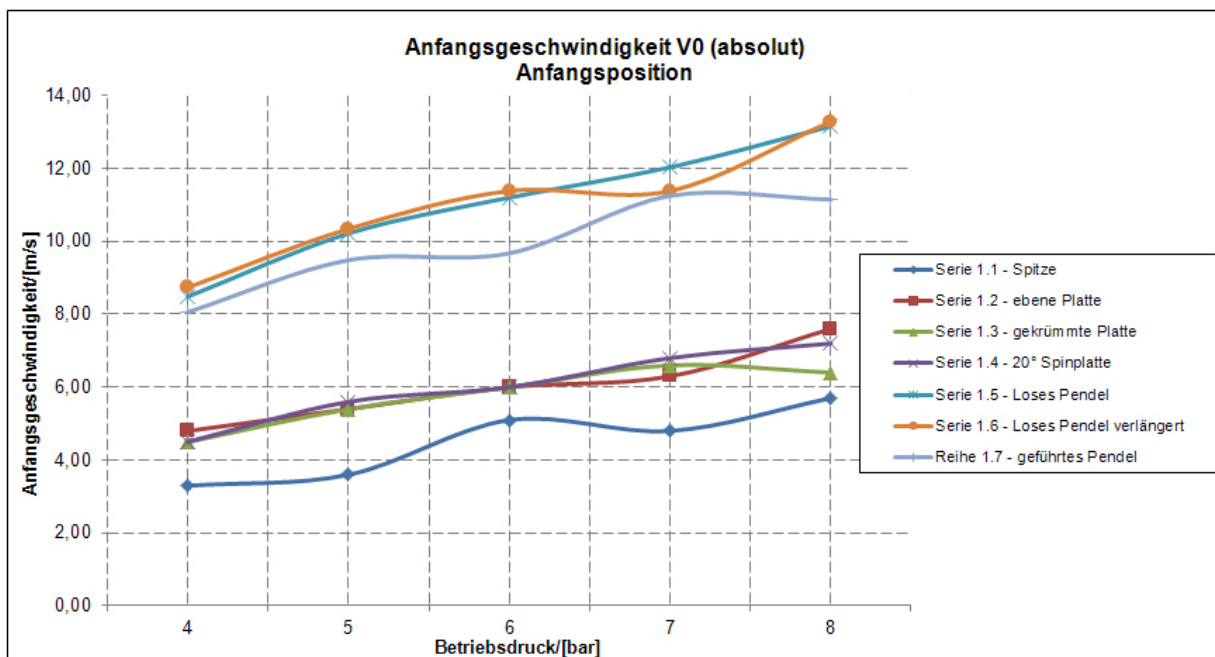


Abbildung 46: Kickversuch Anfangsposition

Abbildung 46 zeigt den Verlauf der Anfangsgeschwindigkeit des Balles aufgetragen über die Zeit, für den Fall, dass der Ball vor dem Kick das Schusselement berührt. Man erkennt, dass für diese

Anordnung die Versuche mit Pendelgeometrien wesentlich besser abschneiden als jene mit einem einfachen zentrischen Stoß. Dies liegt daran, dass es im vorliegenden Fall zu keinem Stoß im eigentlichen Sinne kommt. Der Ball wird vielmehr vom Stößel aus der Ruhelage beschleunigt und erfährt über den gesamten Beschleunigungsweg eine entgegengerichtete Reibkraft durch den Kontakt mit dem Untergrund.

Wesentlich bessere Ergebnisse liefert die Versuchsanordnung für die Fälle in denen ein Pendel zwischen dem Stößel und dem Ball platziert wird. Hier wird der Ball schon nach kurzer Zeit vom Untergrund abgehoben und beschleunigt. Allerdings muss angemerkt werden, dass in diesem Fall der Ballmittelpunkt vertikal unter dem Drehpunkt des Pendels zu liegen kommt, wodurch ein nicht unwesentlicher Teil der Schussenergie in vertikaler Richtung dem Ball als Verformung aufgeprägt wird. Diese Energie kann nur zu einem Teil bei der Rückverformung des Balles wiedergewonnen werden und daher stellt diese Anordnung eine nicht zufriedenstellende Lösung dar.

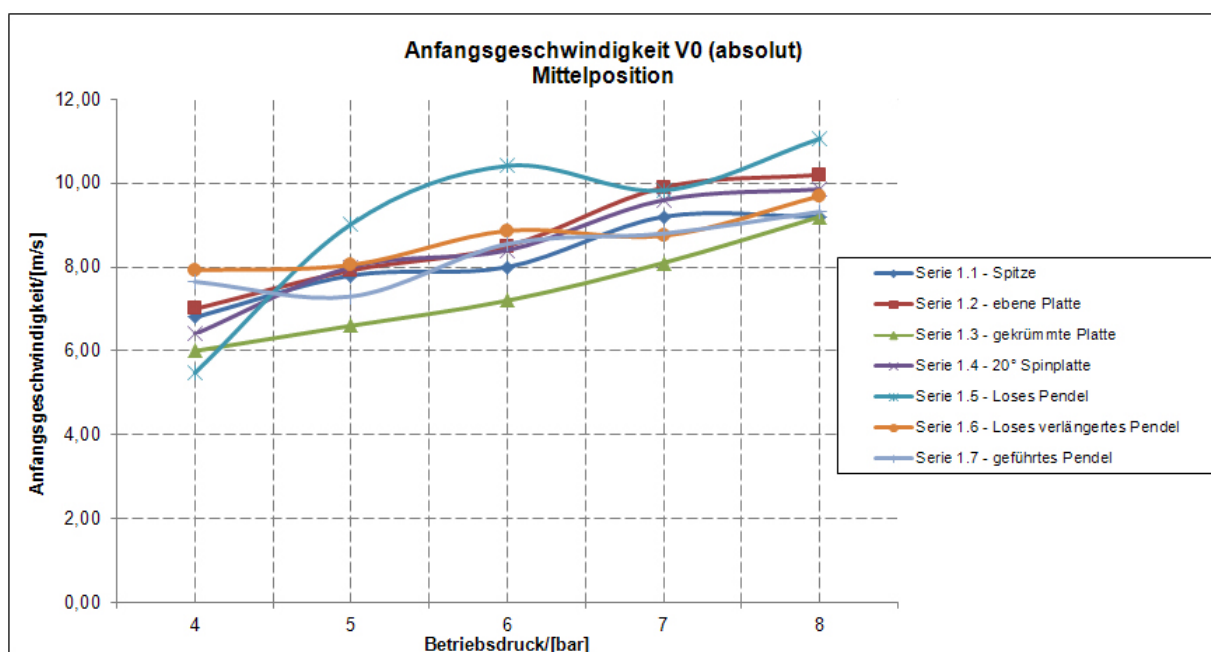


Abbildung 47: Kickversuch Mittelposition

Abbildung 47 spiegelt die aktuelle Situation des Roboters wider. Man erkennt sehr schnell, dass die Anfangsgeschwindigkeiten der Versuche zum geraden sowie zum hohen Schuss sehr eng zusammenliegen und absolut gesehen nicht an die anderen beiden Versuchsreihen herankommen. Zwar wird die Anfangsgeschwindigkeit für den geraden Schuss im Vergleich zum vorher beschriebenen Versuch gesteigert, allerdings nicht genug, um einen zufriedenstellenden Schuss abzugeben. Wesentlich dramatischer sind die Ergebnisse der hohen Schussversuche aus der Mittelposition. Hier tritt der in Kapitel 3.2.1 auf Seite 42 erwähnte Effekt der Doppelberührung auf und der Schuss wird mit einer nicht reproduzierbaren Vertikalgeschwindigkeitskomponente abgegeben. Dies führt zu einem Aufspringen des Balles und macht ihn sowohl als hohen Schuss, als auch als flachen Pass unbrauchbar.

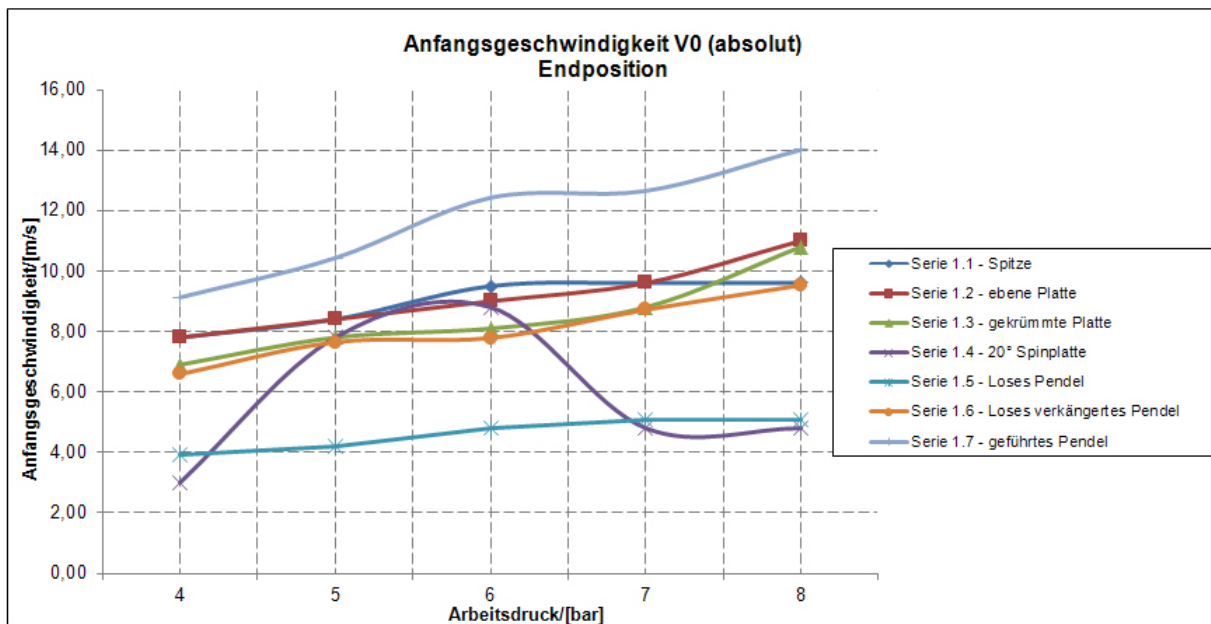


Abbildung 48: Kickversuch Endposition

Zuletzt soll die Versuchsreihe aus Abbildung 48 erläutert werden. Man erkennt sofort, dass die Anfangsgeschwindigkeit für den geraden Schuss beziehungsweise Pass von allen Versuchen am höchsten ist und es außerdem nur geringfügig unterschiedliche Messwerte für die Stösselausführung mit ebener Berührfläche beziehungsweise spitzer Schussgeometrie gibt. Daraus kann abgeleitet werden, dass der gerade Schuss am wirkungsvollsten ist, wenn ein hoher Impuls durch große Anfangsgeschwindigkeit des Stoßelements übertragen wird. Eine geführte Beschleunigung aus der Ruhelage ist hingegen nicht zielführend. Des Weiteren ist kein großer Unterschied zwischen der ebenen und der spitzen Stoßelementgeometrie zu erkennen.

Das Ziel beim Modellieren der endgültigen Geometrie muss es also sein, einen Mittelweg aus spitzem Stoßelement zum zusätzlichen Einbringen von Verformungsenergie und flachem Schusselement zur Schonung des Materials und zur Verhinderung von Querkräften zu finden.

Im Falle des hohen Schusses ist aus der Versuchsreihe sehr gut zu erkennen, dass der Ball die höchste Geschwindigkeit und den größten Abschusswinkel erreicht, wenn er so vor dem Pendel platziert wird, dass das Pendel in der Ruhelage den Ball genau nicht berührt. Dadurch kann es beim Schussvorgang auf einem möglichst tiefen Punkt am Pendel zur Erstberührung von Ball und Pendel kommen und der Ball bekommt die maximale Vertikalgeschwindigkeit aufgeprägt - ein Umstand der sich auch in der höheren Anfangsgeschwindigkeit des verlängerten Pendels im Vergleich zur aktuellen Ausführung zeigt.

Liegt der Ball weiter vom Pendel weg, kann es passieren, dass er nicht mehr ausreichend Kontakt mit dem Pendel erfährt und in einer unkontrollierten Prellbewegung den Kicker verlässt. Dieser Effekt tritt vor allem beim nicht verlängerten Pendel auf (Versuchsreihe 1.5). Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Versuch „Ball in Mittellage“ für diese Versuchsreihe betrachtet.

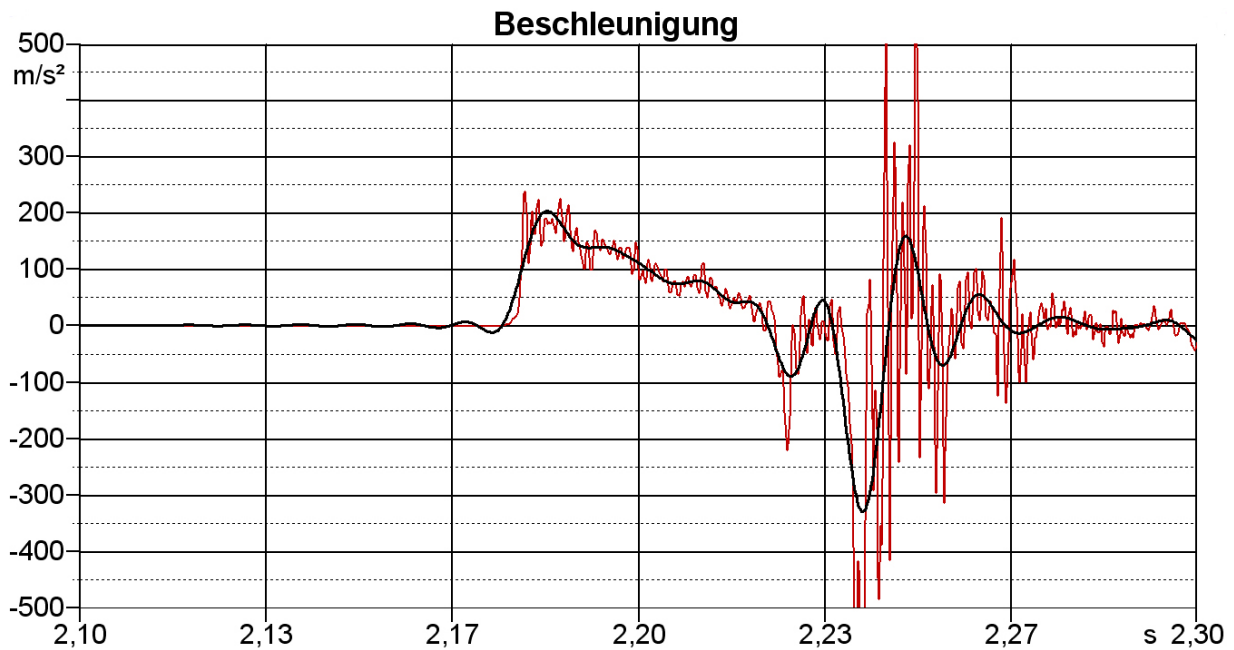


Abbildung 49: Auswertung der Beschleunigung der Versuchsreihe 1.5-M6

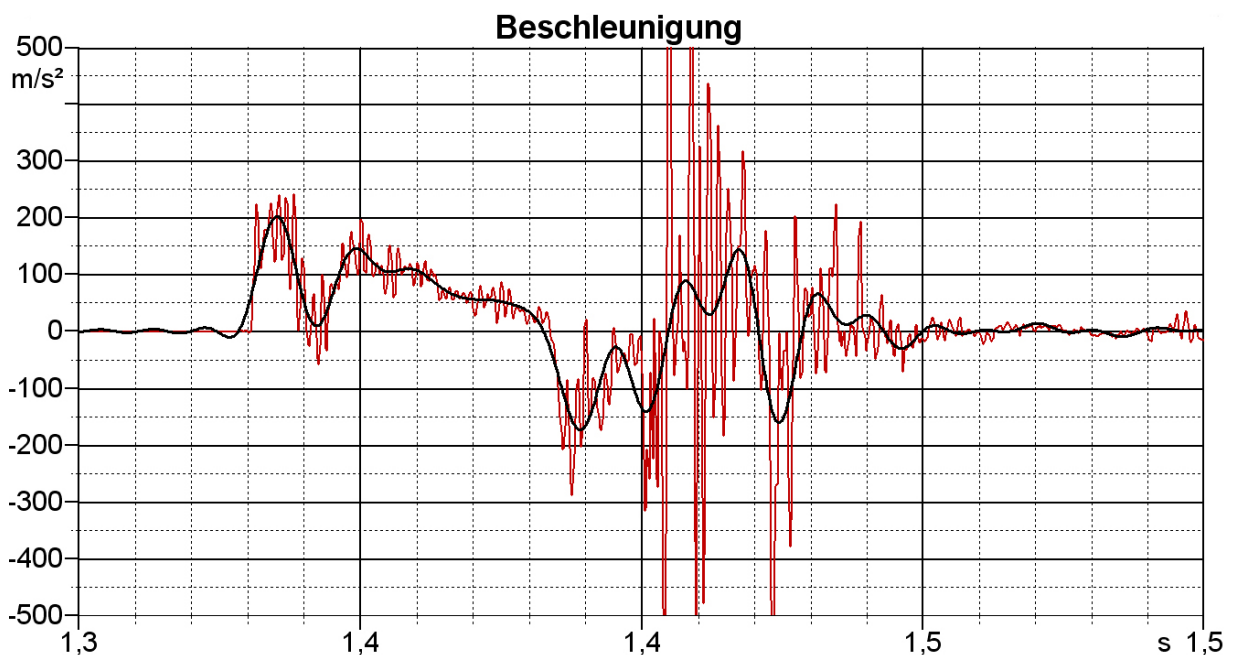


Abbildung 50: Auswertung der Beschleunigung der Versuchsreihe 1.7-E6

Wie leicht zu erkennen ist, treten bei den Pendelausführungen keine Biegeschwingungen auf, selbst das geführte Pendel erzeugt diese Schwingungen nicht. Allerdings erkennt man, dass die Beschleunigung nicht so kontinuierlich abnimmt wie bei der aktuell am Roboter verbauten losen Pendelanordnung des 1.5-M6 Versuchs. Dies liegt in der Konstruktion des Prüfstands begründet, der eine sehr unvorteilhafte Anordnung der Verbindungsstäbe zwischen Pneumatikaktor und Pendel aufweist. Diese Stäbe sind so montiert, dass die lineare Bewegung des Zylinders am Anfang des Hubs in eine negative Vertikalbewegung übersetzt wird. Dieser konstruktive Nachteil muss in der Konzeption des neuen Moduls behoben werden.

Zusammenfassend muss das Stoßelement für den geraden Schuss also auf der einen Seite eine

große Fläche haben, um möglichst geringe Querkräfte aufnehmen zu können, auf der anderen Seite muss es spitz zulaufen, um eine maximale Berührzeit durch die Verformung des Balles zu erreichen.

Die endgültige Konstruktion versucht im Sinne eines Kompromisses diesen gegensätzlichen Anforderungen Rechnung zu tragen und dabei ein geringes Gewicht zu realisieren, um einen möglichst geringen Restimpuls zur Dämpfung in der Endlage zu erreichen. Die Nut am Ende des Stößels dient zur Aufnahme des Kupplungselements, das in Kapitel 4.5 näher erklärt wird.

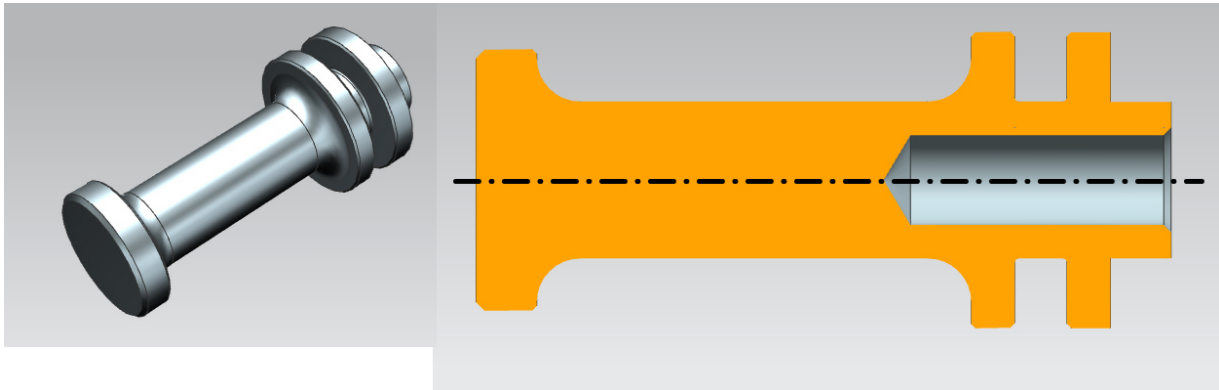


Abbildung 51: Das Stoßelement des Handlingmoduls

Der auf den oben dargestellten Randbedingungen basierende Aufbau des Pendelmechanismus für den hohen Schuss wird in Kapitel 2.5.2 auf Seite 37 genauer beschrieben.

3.4 Versuche zu den pneumatischen Aktoren

Wie in Kapitel 2 beschrieben, wird das neuentwickelte Handlingmodul mit pneumatischer Aktorik ausgestattet. Im nachfolgend vorgestellten Versuch soll vor allem das Verhalten der einzelnen Bauteile unter möglichst realistischen Randbedingungen getestet werden, um sicher zu gehen, dass ein Einbau in das Modulgehäuse später ohne Probleme erfolgen kann.

Die Versuchsreihe zu den pneumatischen Aktoren teilt sich in drei Teilversuche auf. Zuerst soll die Versorgungsspanne der Tauchnotfalldruckflasche getestet werden. Im zweiten Versuch wird auf verschiedene Arten die Dichtheit des Zwischentanks bewiesen werden, um zu vermeiden, dass im späteren Gebrauch Druckluft durch die pneumatischen Verbindungsteile oder gar durch die Schweißnähte entweicht.

Zuletzt soll ermittelt werden, welche Geschwindigkeiten bei verschiedenen Arbeitsdrücken mit dem eingesetzten pneumatischen Muskel erzielt werden können. Einzig der Hauptschusszylinder wird nicht getestet, da dieser zum einen schon sehr lange im technischen Einsatz ist und daher ausführliche Dokumentationen existieren, zum anderen derselbe Zylinder, mit lediglich einer abweichenden Hublänge, bereits in der alten Generation verbaut ist.

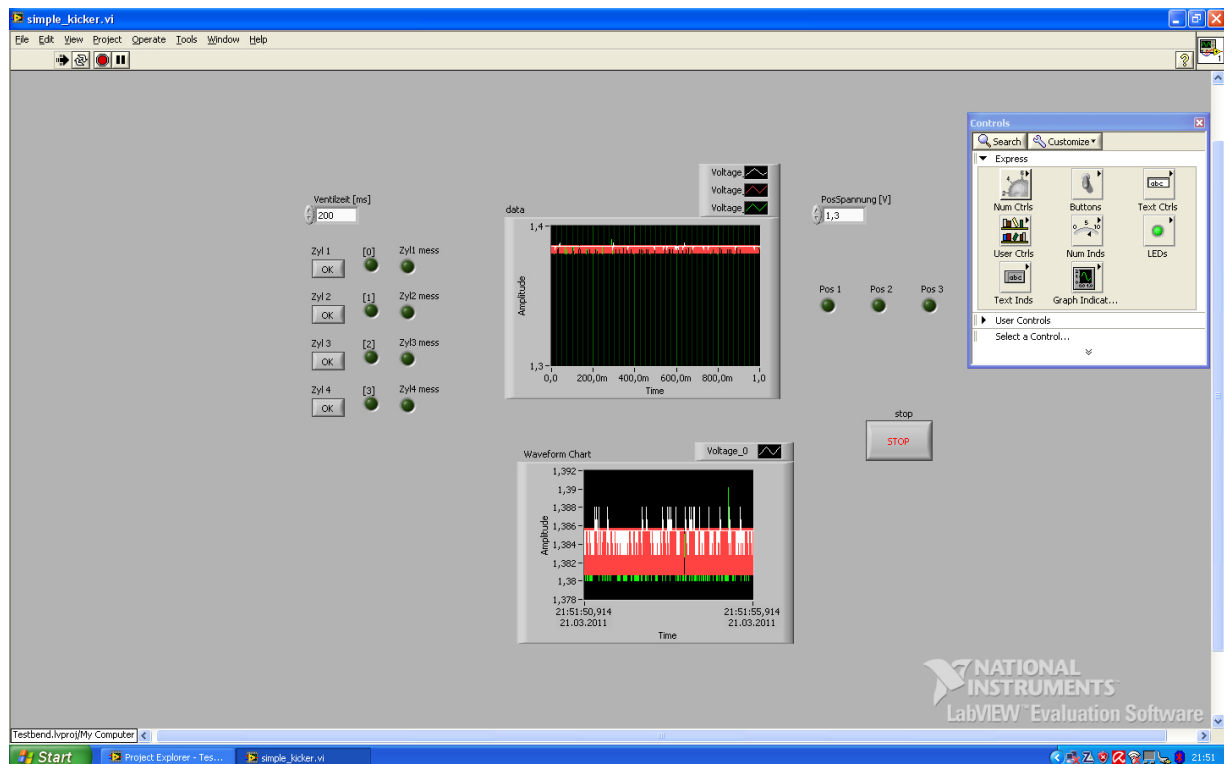


Abbildung 52: Screenshot der Labview Anwendung

Obiges Bild zeigt einen Bildschirmausdruck des erstellten Labview Programms zur Steuerung des Aktorenprüfstands. Dabei können die Ventilschaltzeiten variabel eingestellt, jedes Ventil einzeln angesteuert und die am Hauptschusszylinder angebrachten Näherungssensoren ausgelesen werden.

3.4.1 Die Tauchnotdruckluftflasche

Als Druckluftversorger wird eine 0,4l Notfallflasche der Firma AP Valves verwendet. Im regulären Gebrauch findet diese Tauchflasche ihre Anwendung in Notsituationen, die den Taucher dazu veranlassen einen ungeplanten schnellen Aufstieg durchzuführen. Außerdem ist die Druckluftflasche mit einem, ebenfalls im Tauchsport verwendeten Druckregelventil, einer so genannten 1. Stufe, verbunden, welche die 200bar Innendruck auf den gewünschten Arbeitsdruck von 6bar regelt. Um zu ermitteln, wie viele Schüsse mit einer solchen Tauchflasche abgegeben werden können wird bei einer konstanten Schaltzeit von 200ms so lange ein Aktor betätigt, bis der Betriebsdruck zu gering wird um den Aktor auszulösen. Aus den einzelnen Ergebnissen kann dann für beliebige Kollektive der Luftverbrauch ermittelt werden. Die Schlauchlängen und pneumatischen Verbindungselemente werden dabei genau gleich gewählt, wie sie später im Modul zum Einsatz kommen.

Druckluftflasche Leistungstest				
Flaschenanfangsdruck	verwendeter Aktor	Arbeitsdruck	Auslösezeit	Anzahl Schüsse
190 bar	Muskel	6bar	200ms	180
190 bar	Hauptschussaktor	6bar	200ms	56
190 bar	Hauptschussaktor	4bar	200ms	70

Tabelle 5: Leistungstest der Druckflasche

Man sieht sofort, dass die pneumatischen Muskel mit sehr wenig Luftmenge auskommen, was zum einen an der niedrigen Nennlänge, zum anderen an der einmaligen Betätigung (beim Hauptschusszylinder muss ein Rückführventil den Stößel wieder in die Ausgangsposition bringen) des Muskels liegt.

Für das Schusskollektiv wird angenommen, dass in einem Spiel die pneumatischen Muskel und der Hauptschusszylinder gleich oft betätigt werden. Außerdem kann die Flasche in der Halbzeit neu befüllt werden und wie in Kapitel 1.3 beschrieben, sollte es möglich sein, 30 Schuss pro Halbzeit mit der Hauptschusseinheit abzugeben.

Das bedeutet, dass wenn man den Luftverbrauch zweier Muskelbetätigungen auf eine Betätigung des Hauptschusszylinders aufaddiert, bei einem eingestellten Arbeitsdruck von 6bar, umgerechnet 49 Schüsse des Hauptzylinders möglich sein müssen. Dies ist wie Tabelle 5 zeigt erfüllt.

3.4.2 Der Zwischentank

Abbildung 53: Der Zwischentank⁴⁰

Der Zwischentank wird auf drei verschiedene Arten auf Dichtheit untersucht. Dabei kommt immer derselbe Prüfstands Aufbau zum Einsatz. Der Aluminiumtank wird auf der Auslassseite luftdicht verschlossen, während in die Zuleitung ein Not-Aus-Ventil sowie ein Manometer eingebaut sind. Im ersten Versuch wird der Tank vollständig ins Wasserbad gelegt und auf austretende Luft bei

⁴⁰[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 9

steigendem Druck, bis zu einem Maximaldruck von 8bar geachtet. Anschließend belastet man den Tank für 24 Stunden mit einem Dauerdruck von 8bar, um abschließend ein schnelles Befüllen und Entleeren des Tanks zu simulieren. Dabei wird in kurzen Zeitintervallen der Innendruck des Tanks auf 8bar gebracht, dieser durch das Öffnen des Not-Aus-Ventils schnell entlüftet und durch anschließendes Schließen des Ventils wieder auf den Betriebsdruck aufgeladen.

Der Tank hielt allen drei Belastungstests stand ohne Anzeichen des Versagens zu zeigen. Er kann somit sicher in das Modul verbaut werden.

3.4.3 Der pneumatische Muskel

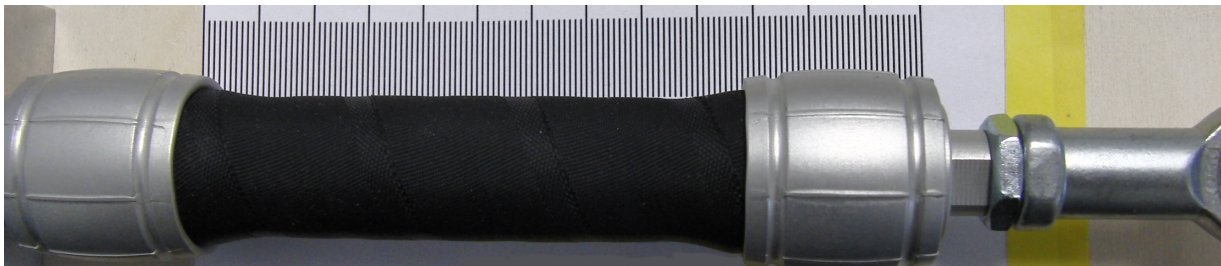


Abbildung 54: Der Muskelprüfstand

Obiges Bild zeigt eine Momentaufnahme des High-Speed-Kamera-Videos, das die Daten für die nachfolgenden Auswertungen liefert. Angesteuert werden die Muskel über die in Kapitel 3.4 beschriebene LabView Applikation.

Im Rahmen dieses letzten Aktorversuchs soll ermittelt werden, wie sich die eingesetzten pneumatischen Muskel bei Änderung des Betriebsdrucks beziehungsweise der Ventilschaltzeit verhalten und welche Maximalgeschwindigkeiten unter den gegebenen Randbedingungen möglich sind.

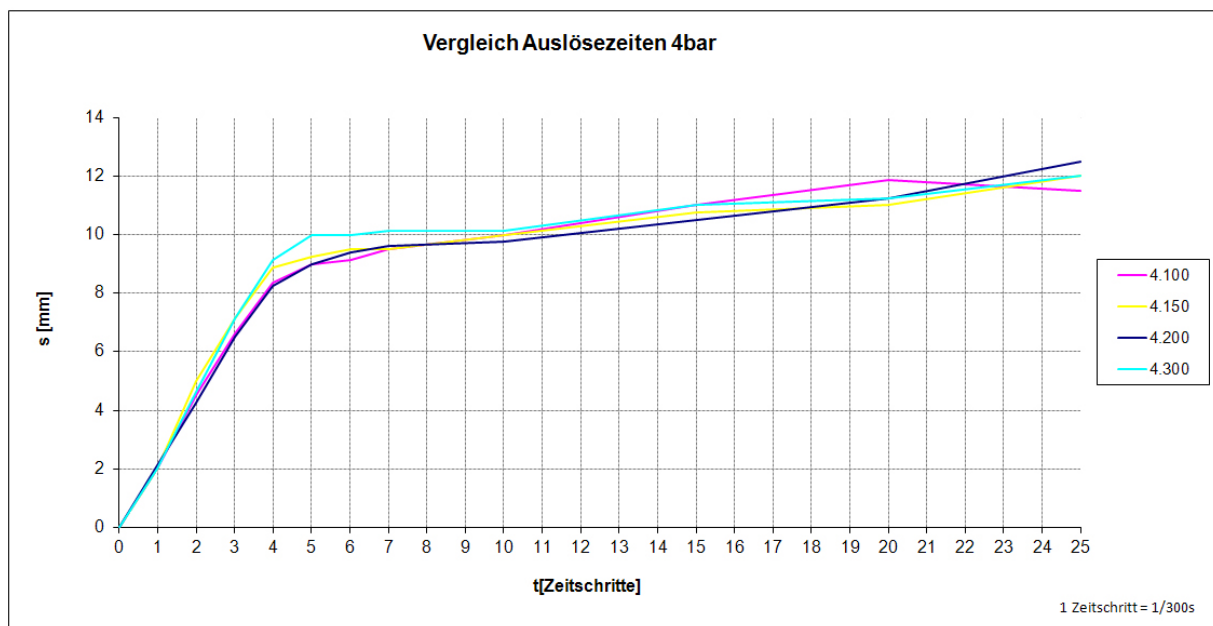


Abbildung 55: Muskelbewegung bei 4bar

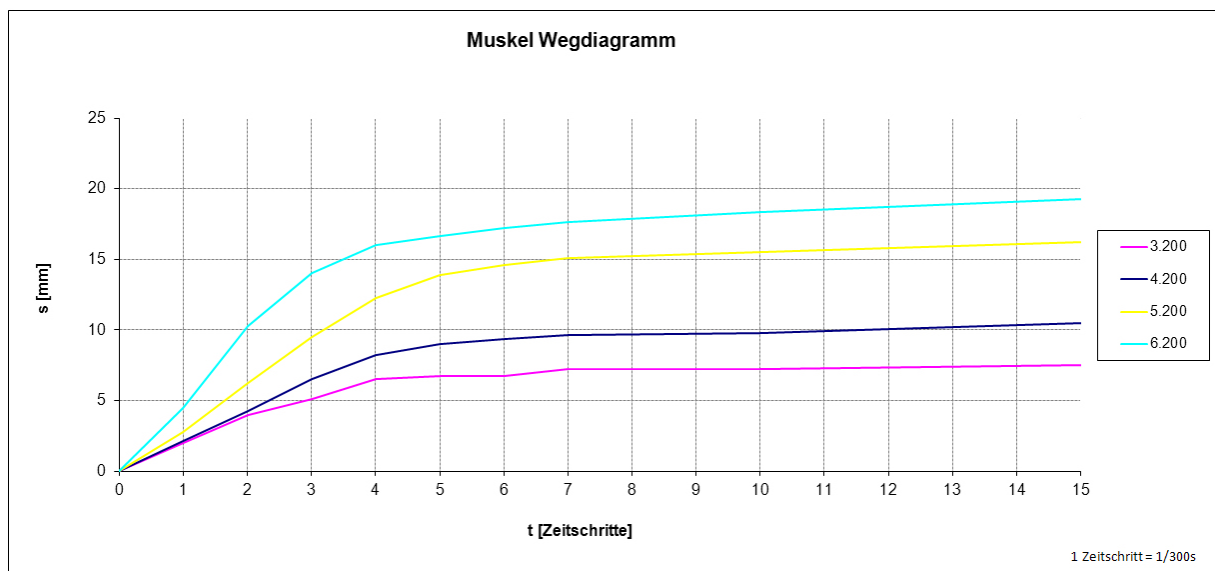


Abbildung 56: Vergleich des Hubs bei 200ms Ventilschaltzeit und verschiedenen Arbeitsdrücken

Abbildung 55 zeigt, dass die Ventilöffnungszeit keinerlei Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten des Muskels hat. In der praktischen Anwendung sind nur die ersten 10mm Hub des Muskels von Interesse, da hier die größte Kraft erzeugt wird. Man erkennt, dass die Schaltzeit des Ventils keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Muskels in diesem Bereich hat. High Speed Aufnahmen der Muskelkontraktion zeigen, dass der Muskel sich ab 12mm Hub nur mehr sehr langsam bewegt, und je nach Schaltzeit seine maximale Kontraktion bei 15mm bis 23mm liegt. Ab einer Schaltzeit von 250ms kontrahiert der Muskel nicht weiter und verharrt in seiner maximal kontrahierten Position.

Abbildung 56 zeigt, dass der Arbeitsdruck hingegen einen sehr großen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Muskels besitzt. Da der maximale Betriebsdruck des pneumatischen Muskels vom Hersteller mit 6bar beziffert wird, soll dies auch die ausschlaggebende Begründung sein, genau diesen Druck als Arbeitsdruck im Modul zu verwenden.

3.5 Spezielle Versuche zur Pendelgeometrie

Die abschließende Versuchsreihe dieses Kapitels befasst sich mit der Ermittlung der optimalen Schaufelgeometrie des Pendels. Dabei ist es vor allem wichtig, die in Kapitel 2.2 ermittelten Randbedingungen zu Schussgeschwindigkeit und Abschusswinkel einzuhalten beziehungsweise einen Kompromiss zwischen beiden Faktoren zu finden, der es erlaubt, eine möglichst optimale Flugkurve zu erreichen.

Die Versuche werden mit der später im Modul verbauten Pendelgeometrie durchgeführt um nicht nur eine gezielte Aussage über die Vor- beziehungsweise Nachteile verschiedener Pendelausführungen zu treffen, sondern um bereits realistische Vorhersagen zum, mit dem Modul möglichen, Schuss abzugeben. Im Rahmen der vier Versuchsreihen soll also ermittelt werden, welche Adaption des Pendels den größten Vorteil in Bezug auf einen harten, weiten und hohen Schuss erzielt. Dabei wird der erste Versuch mit dem einfachen Standardpendel ohne Aufsatz durchgeführt, im Weiteren kommen die folgenden drei Modifizierungen zum Einsatz:

- Spitze: 20mm oberhalb der Unterkante des Pendels wird ein konischer Zylinder befestigt welcher so lang ausgeführt ist, dass er, trotz der Verformung des Balles, stets die einzige Berührstelle zwischen Pendel und Ball darstellt. Es soll ermittelt werden, inwiefern die durch die kleine Berührfläche erzwungene, lokal sehr stark ausgeprägte, elastische Verformung des Balles und die damit erreichte längere Berührzeit, die es ermöglicht, mehr Energie zu übertragen, eine positive Auswirkung auf die Anfangsgeschwindigkeit des Balles hat. Der Abschusswinkel ergibt sich dann aus der genauen Länge der Spitze. Ein weiterer Vorteil der Spitze ist die geringe Masse, was wiederum einen Vorteil in Zusammenhang mit dem Endanschlag des Hauptschusszylinders darstellt, da dieser einen geringeren Impuls mit Hilfe der Endlagendämpfung auffangen muss.
- 20° Schräge: Für diesen Versuch wird ein Aluminiumkeil mit einer Steigung von 20° am Ende des Pendels befestigt und dadurch der Winkel in dem das Pendel auf den Ball trifft verändert. Der Keil bietet nicht nur eine größere Berührfläche, was zu einer gleichmäßigeren und vor allem geringeren Deformation des Balles führt, er ist auch bedeutend schwerer als die Spitze und überträgt somit einen größeren Impuls auf den Ball. Allerdings führt diese höhere Gewichtskraft zu einem ebenfalls überhöhten Impuls im Endanschlag und damit zu einer größeren Erschütterung der Roboterstruktur.
- 30° Schräge Die letzte Versuchsreihe folgt im Prinzip dem vorhergegangenen Versuch, der Keil hat im Gegensatz zu vorher allerdings eine um 30° geneigte Hypotenuse, was den im vorhergegangenen Punkt beschriebenen Effekt des höheren Impulses der auf den Ball übertragen wird noch steigert.

Das folgende Bild zeigt den Versuchsaufbau. Dabei kommt das später auch im Modul verwendete Pendel zum Einsatz, welches mit Befestigungsbohrungen ausgeführt ist, die zur Montage der verschiedenen Aufsätze gedacht sind und zu keiner nennenswerten Herabsetzung der Pendelschauelfestigkeit führen.

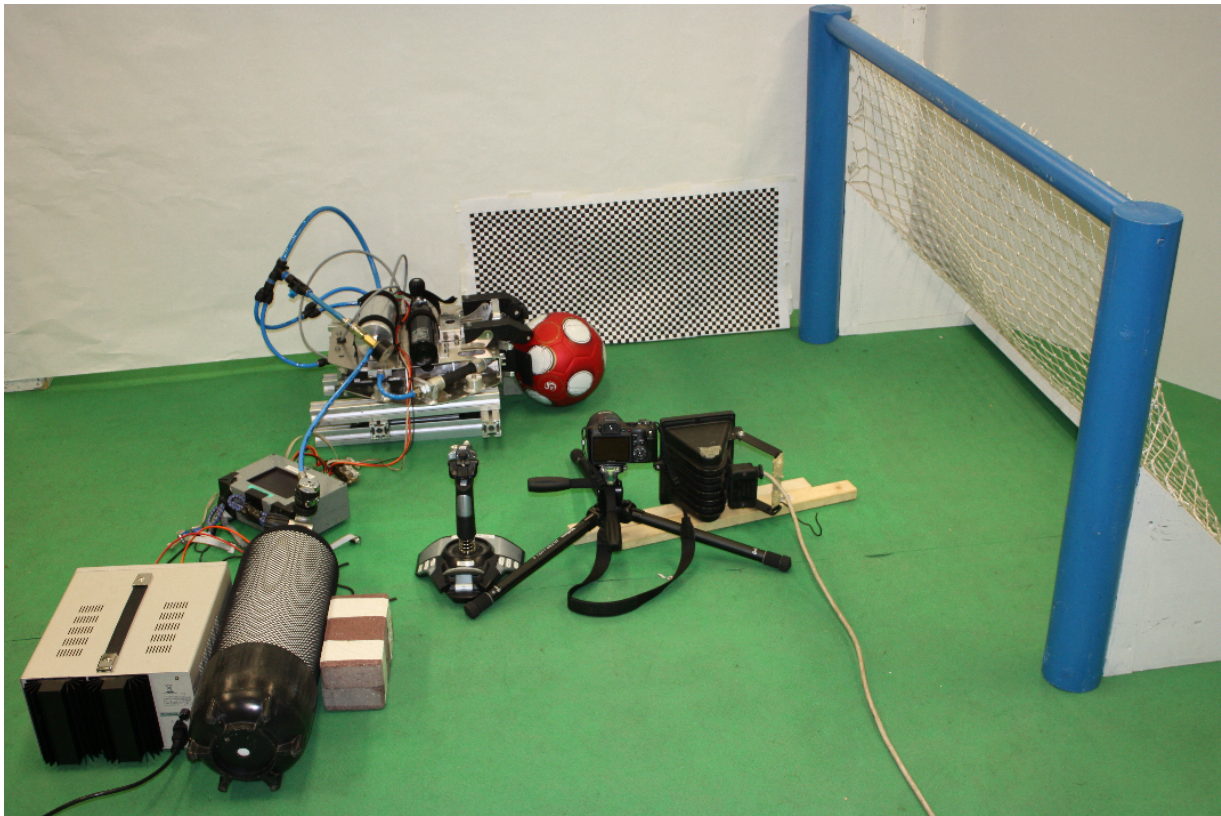


Abbildung 57: Der Prüfstand für die Schussversuche

Der Hauptschusszylinder wird mit Hilfe der Schussplatine angesteuert, die wiederum über eine Fernsteuerung von einem Funkjoystick bedient werden kann. Die Schaltzeit des Schussventils beträgt dabei 200ms. Dieser Wert wurde gewählt, da er auf jeden Fall ausreicht, um den Schusszylinder auf seine maximale Geschwindigkeit zu beschleunigen, allerdings auch gering genug ist, um nicht unnötig viel Luft zu verbrauchen.

Nachfolgend soll der erreichte Winkel und die Abschussgeschwindigkeit für die vier oberhalb beschriebenen Versuchsreihen bei einem Arbeitsdruck von 6bar angeführt werden. Die Werte wurden dabei aus den Aufnahmen der Versuchsreihen mit Hilfe einer High Speed Kamera ermittelt.

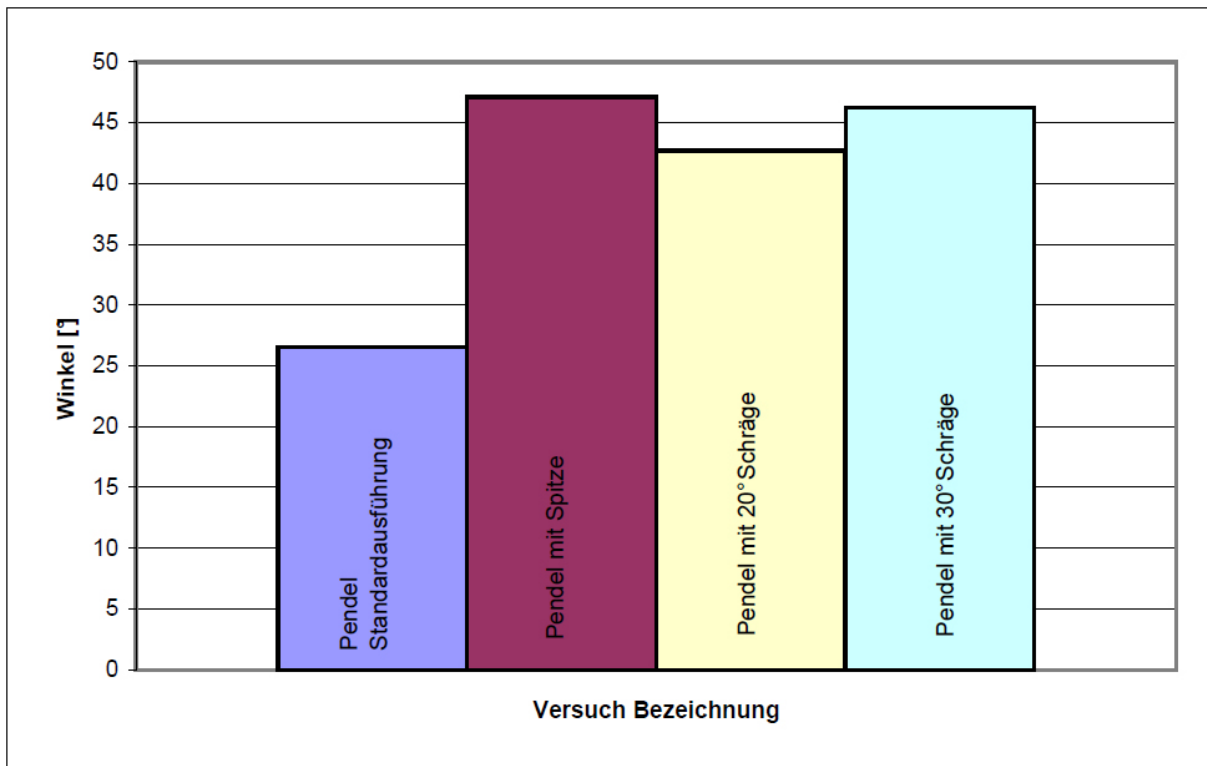


Abbildung 58: Erreichbarer Winkel der Pendelgeometrien bei 6bar

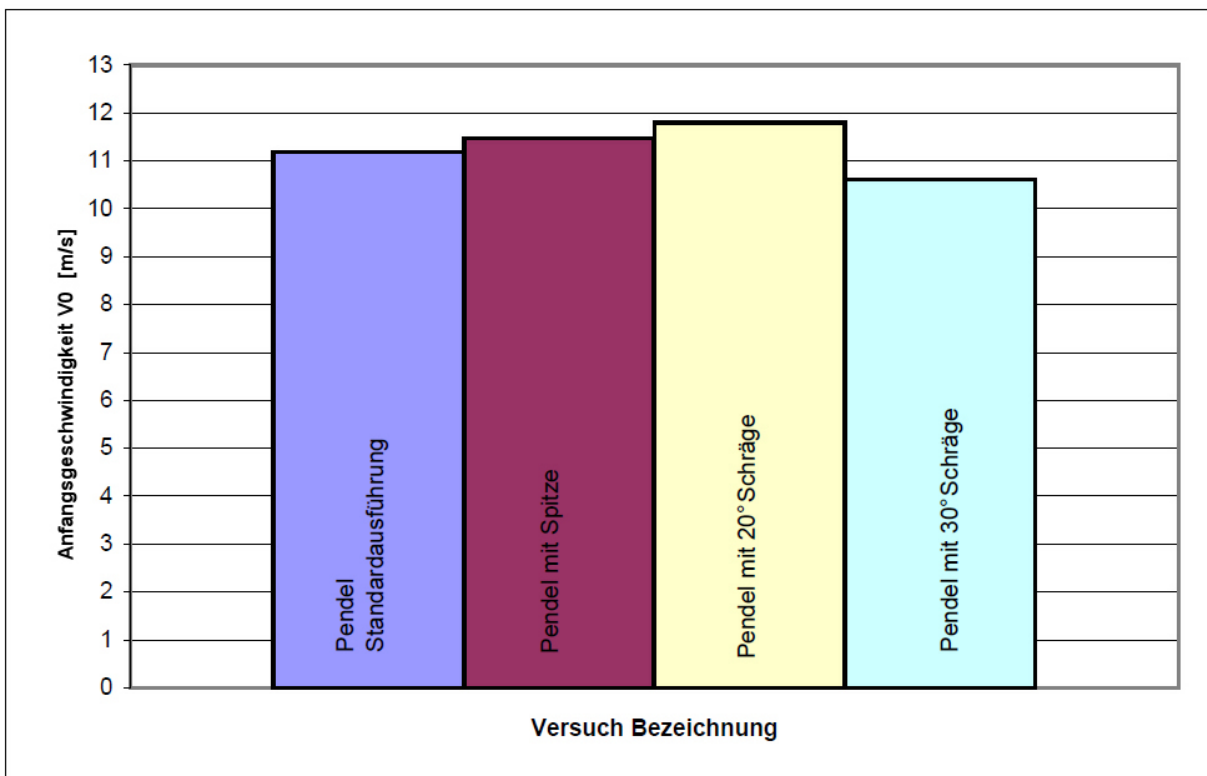


Abbildung 59: Erreichbare Anfangsgeschwindigkeit der verschiedenen Pendelgeometrien bei 6bar

Man erkennt, dass die verschiedenen Aufsätze der einfachen Pendelgeometrie sowohl in der Abschussgeschwindigkeit, als auch im Abschusswinkel eindeutig überlegen sind. Außerdem ist erkennbar, dass die Versuche, die einen geringeren Abschusswinkel vorweisen eine höhere Geschwindigkeit besitzen. Dies liegt darin begründet, dass bei steigendem Abschusswinkel die Ver-

tikalkomponente der Schussgeschwindigkeit stärker gegen die Erdbeschleunigung wirken muss. Es ist also nötig die optimale Kombination aus Schusshöhe und -weite zu betrachten, um die optimale Pendelgeometrie auszuwählen.

Ergebnis der Pendelschussversuche				
Versuchs- beschreibung	Abschusswinkel [°]	Anfangsge- schwindigkeit [m/s]	maximale Höhe [m]	maximale Weite [m]
Standardpendel	26,6	11,2	0,753	5,3
Pendel mit Spitze	47,1	11,5	1,380	5,8
Pendel mit 20° Schräge	42,7	11,8	1,630	5,9
Pendel mit 30° Schräge	46,3	10,6	1,600	5,3

Tabelle 6: Ergebnisse der Flugkurve der verschiedenen Pendel

Tabelle 6 zeigt den Abschusswinkel und die Abschussgeschwindigkeit als Eingangsgrößen der Flugparabelberechnung, die Schusshöhe sowie die erreichte Weite der einzelnen Pendelgeometrien die mittels einer Matlabsimulation errechnet und in praktischen Versuchen verifiziert wurden. Als optimale Schussparabel ergibt sich demnach der Versuchsaufbau des 20° Keils, dessen Schussparabel im Folgenden dargestellt ist.

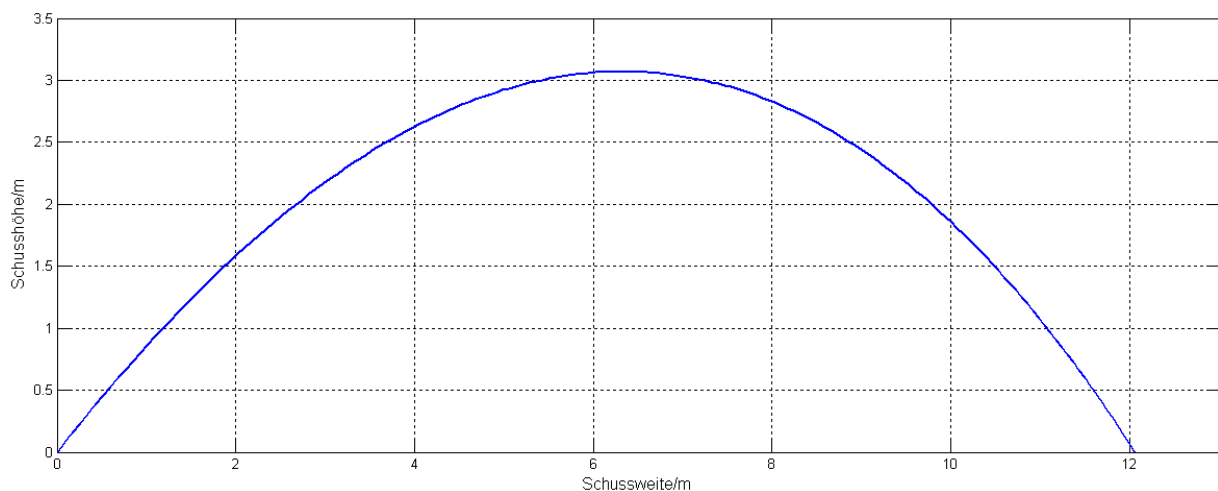


Abbildung 60: Die optimale Flugkurve für den hohen Schuss

Das einzig verbleibende Kriterium ist nun die Rückwirkung einer größeren Masse und dem damit verbundenen Impuls im Endanschlag auf die Roboterstruktur. Diese Analyse wird ebenfalls mit Hilfe von High-Speed-Kamera-Aufnahmen durchgeführt und ergibt nur geringe Abweichungen für die einzelnen Versuche. Damit ist der 20° Keil für die optimale Pendelgeometrie bestimmt.

4 Konstruktionsevolution

Das folgende Kapitel behandelt die vorgegebenen Randbedingungen, den einzuhaltenden Bauraum, die einzelnen Schritte der Konstruktion, die Evolution einzelner Komponenten sowie eine Betrachtung des Gesamtmoduls.

4.1 Randbedingungen

Als Grundlage für die Konzeption des Handlingmoduls dienen zum einen die zuvor beschriebenen Randbedingungen, zum anderen der vorgegebene Bauraum im Inneren des Roboters. Die Konzepterarbeitung, Modellierung und Konstruktion erfolgt simultan zur Modellierung des restlichen Roboters, was die strikte Einhaltung festgelegter Schnittpunkte zu einem zentralen Thema des Evolutionsprozesses macht. Dabei ist es nicht nur wichtig dem Modularitätsgedanken folgend so wenige, leicht zu lösende Verbindungen wie möglich zu schaffen, sondern genauso auf einen Aufbau zu achten, der ein leichtes Ein- und Ausbauen des Moduls ermöglicht. Das folgende Bild zeigt den vorhandenen Bauraum (Workspace), der als bekannte Randbedingung vor dem Konzeptionsstart festgelegt wird.

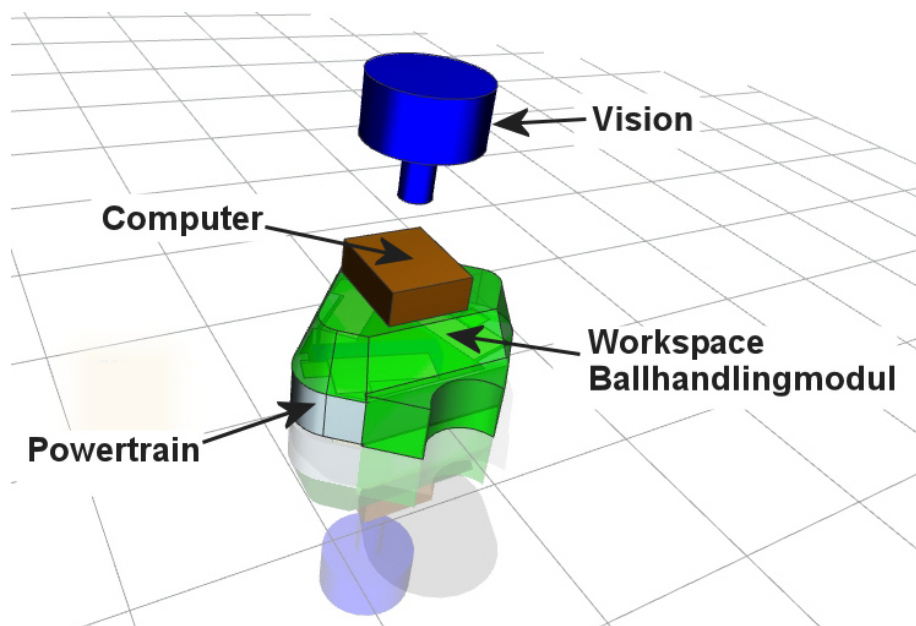


Abbildung 61: Der Workspace⁴¹

Eine nicht zu unterschätzende Eigenschaft des Bauraums ist, dass auf Grund einer optimalen Regelausnutzung, die drei omnidirektionalen Antriebsräder des Roboters nicht symmetrisch zur Mittelachse angeordnet sind. Dieser Umstand wiederum führt zu der Situation, dass auch die Ballführung sowie die zentrale Schusseinheit außerhalb der geometrischen Mitte des Roboters liegen. Dies führt nicht nur zu einem Anstieg der Komplexität geometrischer Überlegungen, sondern ebenso zu einer wesentlich aufwendigeren Schwerpunktbetrachtung. Da das Fahrwerk so ausgerichtet ist, dass der Schwerpunkt in einem sehr engen Toleranzrahmen liegen muss⁴², ist

⁴¹Vgl. [RATH, Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis , 2011]

⁴²Vgl. [RATH, Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis , 2011]

es äußerst wichtig, die durch das außermittige Anbringen des Hauptschusszylinders sowie der dazugehörigen Schaltungstechnik erfolgte Verschiebung des Schwerpunkts mit Hilfe einer gut überlegten Anordnung anderer Bauteile zu kompensieren.

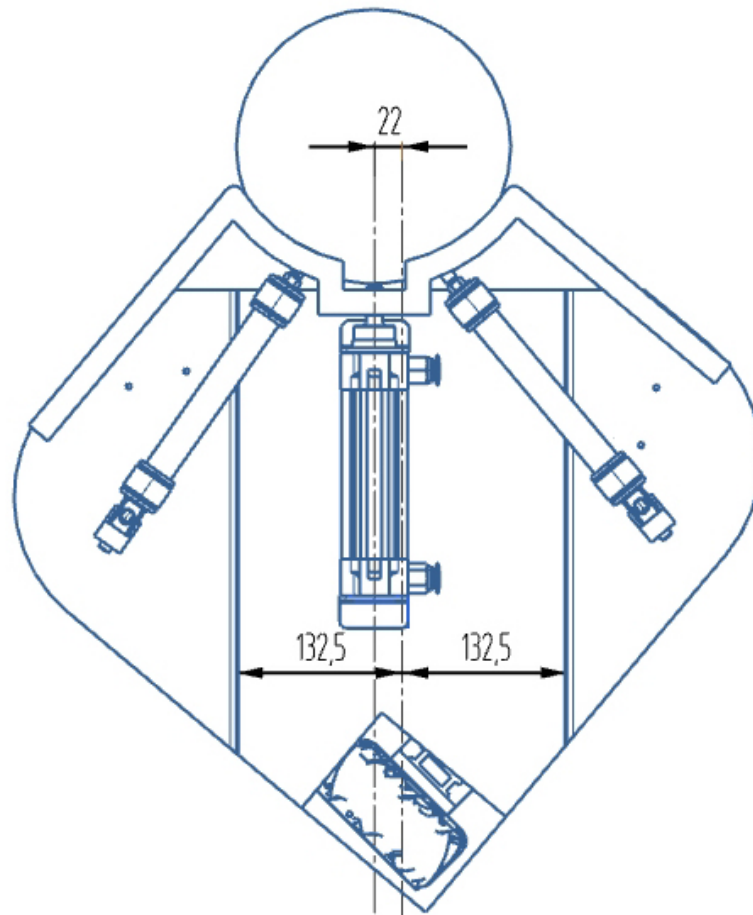


Abbildung 62: Die horizontale Exzentrizität des Schussaktors

Selbiges gilt in vertikaler Richtung, wo auf Grund der Höhe des Fahrwerkmoduls eine Exzentrizität von 21mm zur Ballmitte in Kauf genommen werden muss. Wie sich in Versuchen am fertiggestellten Modul allerdings zeigt, ist der Einfluss dieser konstruktiv vorgegebenen Randbedingung sehr gering.

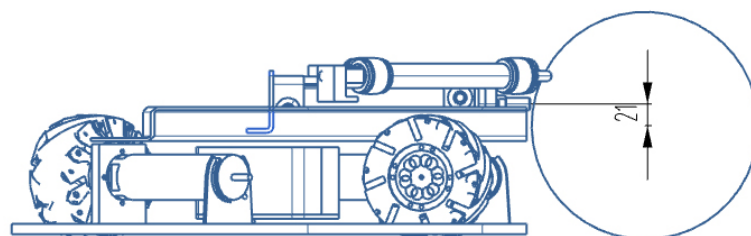


Abbildung 63: Die Exzentrizität der vertikalen Schussachse

Im Weiteren ist der Einsatz der in Kapitel 3.4.3 auf Seite 58 beschriebenen *Fluidic Muscles* geplant, die als Seitenschusseinheiten zum Einsatz kommen sollen um eine höhere Variabilität der Schussmöglichkeiten zu gewährleisten. In einem ersten Konzeptionsschritt wird eine grobe Bau- raumzuteilung innerhalb des Moduls durchgeführt. Dabei ist auch schon berücksichtigt, dass es

eine Möglichkeit geben muss zwischen geradem und hohem Kick der Hauptschusseinheit umschalten zu können. Dieser Prozess soll mit einer Kupplungsmechanik bewerkstelligt werden, die robust und ausfallssicher ist und vor allem schnell operieren kann.

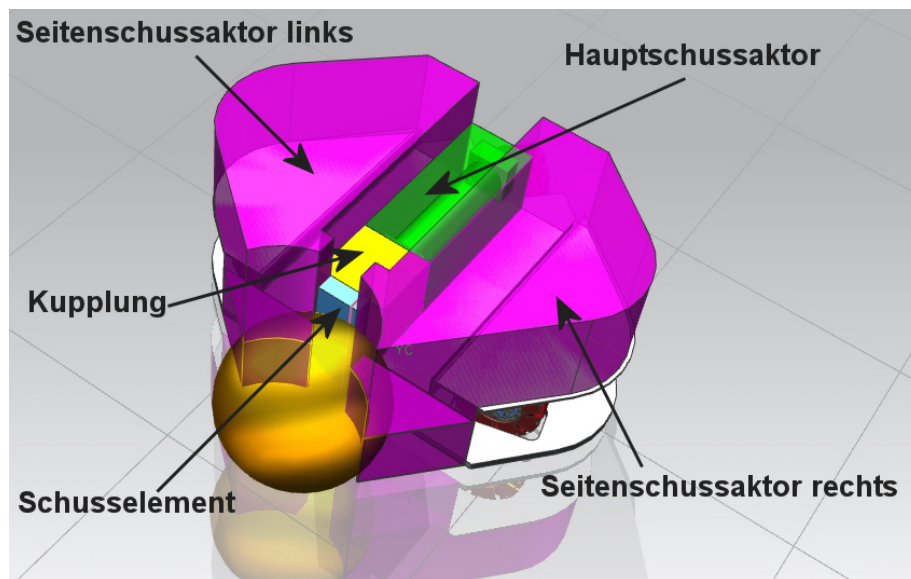


Abbildung 64: Der Workspace des Handlingmoduls

4.2 Übersicht der Baugruppen

Das Handlingmodul gliedert sich in zwölf einzelne Module, die so konzipiert sind, dass sie zum Einen im Falle eines technischen Gebrechens während des Spielbetriebs leicht auswechselbar und wartungsfreundlich sind und zum anderen als in sich geschlossene Systeme angesehen werden können.

Dies erleichtert vor allem die Umsetzung von Funktionstests, da jedes Modul einzeln getestet werden kann und sich damit der Zeitaufwand im Zusammenbau erheblich verringert, da parallel zur Fertigung einzelnen Module, die bereits fertig gestellt sind, getestet werden können. Die zwölf Module sind wie folgt gegliedert:

- 01.04.01 Gehäuse
- 01.04.02 Ballführung unten
- 01.04.03 Hauptschusszylinder
- 01.04.04 Seitenaktor
- 01.04.06 Druckflasche
- 01.04.08 Zwischentank und Verschlauchung
- 01.04.09 Ventile
- 01.04.10 Hauptplatine und Verkabelung
- 01.04.11 Schusspendel
- 01.04.12/13 Pinball-Arm rechts/links
- 01.04.14 Kupplung
- 01.04.15/16 Ballführung oben rechts/links

Die Nummerierung erfolgt nicht fortlaufend, da einzelne Module im Zuge des Konstruktionsprozesses verworfen beziehungsweise vereinigt wurden. Des Weiteren soll nachfolgend vor allem auf jene Baugruppen eingegangen werden, die einen wesentlichen Erfolgsfaktor darstellen. Dies sind die Ballführung, der Kupplungsmechanismus der ein Umschalten zwischen geradem und hohem Schuss ermöglicht und der pneumatische Kreis. Verschiedene Varianten und Evolutionsschritte sowie die zugrundeliegenden Überlegungen werden vorgestellt.

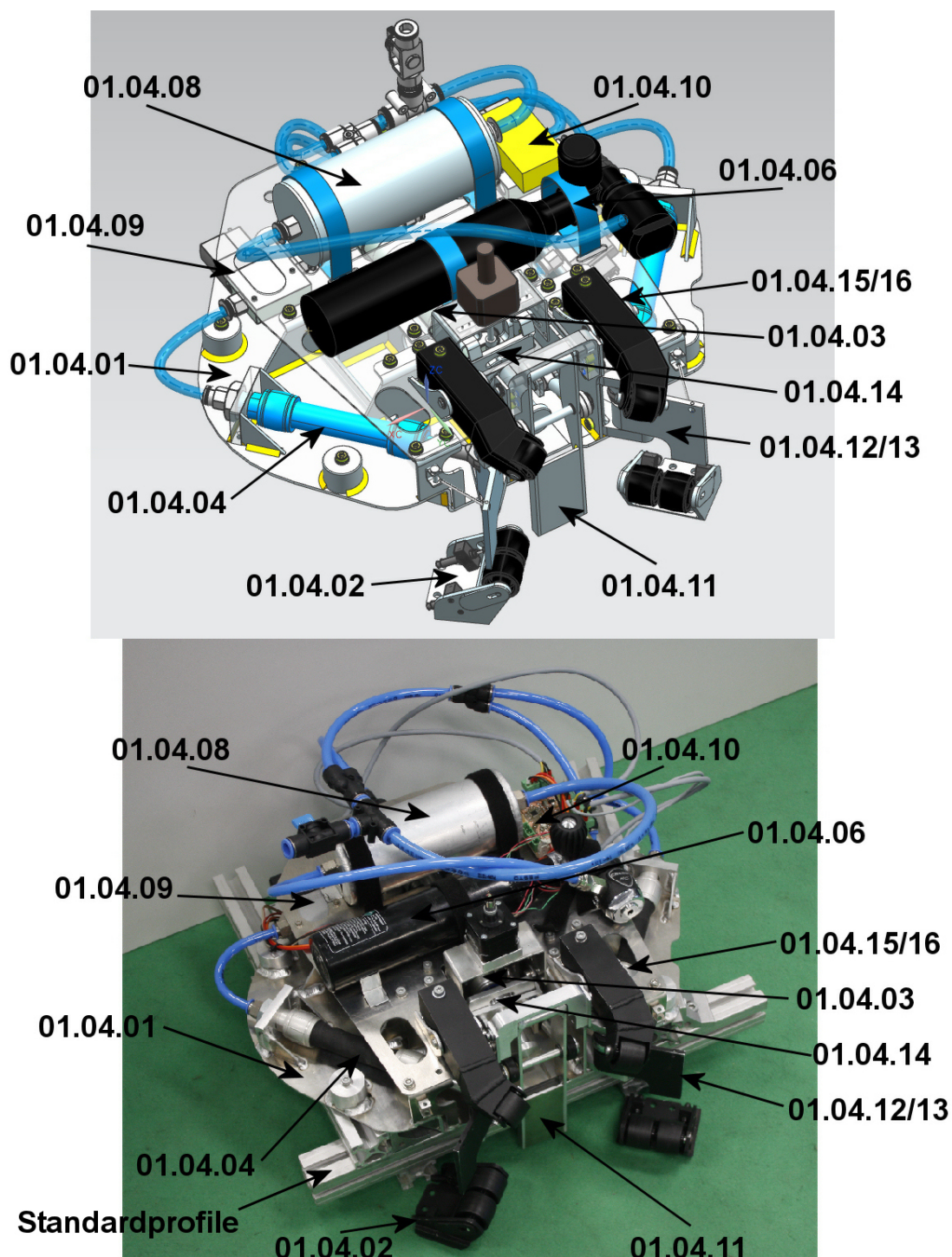


Abbildung 65: Das Ballhandlingmodul und die Modulbaugruppen

Die in Abbildung 65 zu erkennenden Standardprofile dienen lediglich zum Transport und zur Präsentation und haben keinerlei Funktion für das Handlingmodul.

Neuentwicklung eines Handlingmoduls für eine Autonome Roboterplattform

4.3 Das Gehäuse

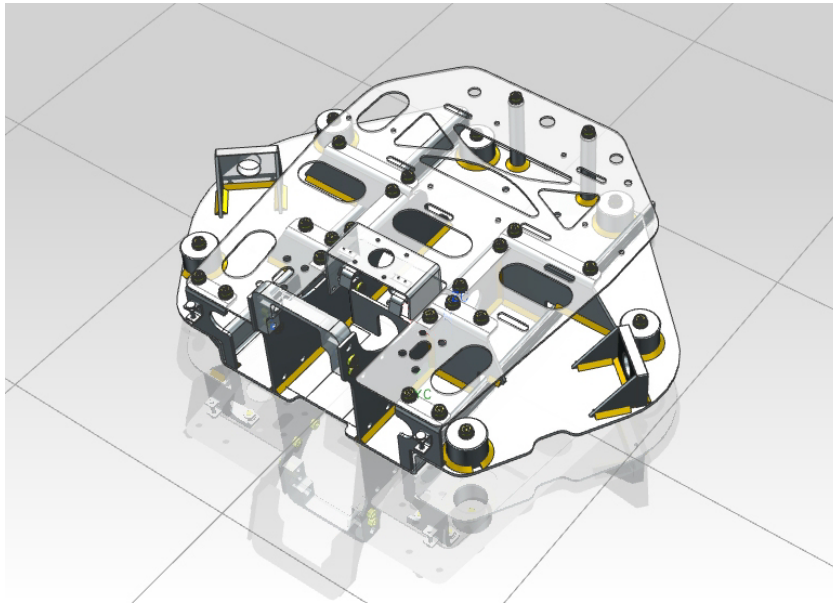


Abbildung 66: Das Gehäuse

Das Gehäuse ist der zentrale Träger des gesamten Moduls. Es wird an sechs leicht zugänglichen Stellen mit Hilfe von Elastomerdämpfern an der Robotergrundstruktur befestigt. Diese Dämpfer nehmen bei einer Bewegung von maximal 7,5 Millimetern in radialer Richtung eine Kraft von jeweils 230 Newton auf und können somit die Stoßkraft des Hauptschusszylinders leicht aufnehmen um so das Modul von der Grundstruktur zu entkoppeln.

Außerdem folgt das Gehäuse der Leichtbauweise. Eine Wabenschweißkonstruktion aus Aluminiumblechen ist mit einer Deckebene verschraubt und bietet so sehr hohe Stabilität bei verhältnismäßig geringem Gewicht, da außerhalb des Kraftflusses Ausnehmungen vorgesehen sind.

Ein weiterer Vorteil der Deckebene, an der sämtliche Pneumatikkomponenten mit Ausnahme der Aktoren befestigt sind, ist die einfache Demontage. Sie kann mit Hilfe weniger Schraubenverbindungen abgenommen werden und so ist es möglich, einzelne Komponenten des pneumatischen Kreises schnell und strukturiert zu analysieren und gegebenenfalls auszutauschen.

Oft an und abzumontierende Teile, die von außen zugänglich sind, wie etwa die Druckluftflasche (zum Wiederbefüllen in der Halbzeit) oder der Zwischentank (um zum Platinenprogrammierstecker zu gelangen, siehe Kapitel 4.7, Seite 86) sind mittels Positionierwinkel und industriellem Klettband befestigt, um eine einfache Handhabung und schnelle Demontage bei gleichzeitig optimalem Halt zu gewährleisten.

Die schwierigste Aufgabe bei der Fertigung des Gehäuses ist die genaue Positionierung der Seitenaktorhalterungen, die in einem Winkel von 40° zur Frontseite angeschweißt werden müssen. Um diesen Winkel möglichst genau einzuhalten, werden die Halterungen mit Passstiften positioniert. Dies verhindert einen unsachgemäßen Einbau der *Fluidic Muscles*, der zu einem Abknicken unter Last führen würde.

4.4 Die Ballführung

Der nachfolgende Abschnitt soll die Konstruktionsevolution der Ballführung beschreiben. Dabei soll ausgehend von der aktuellen Konstruktion, unter Einhaltung des Middle Size Regelwerks und basierend auf den Erkenntnissen aus Kapitel 2 eine Lösung gefunden werden, die es nicht nur ermöglicht, den Ball auch während Drehbewegungen zu kontrollieren, sondern gleichzeitig auch die Schussrichtung der einzelnen Aktoren nicht behindert.

Die bisherige Konstruktion besteht aus vier starr montierten Kragarmen an deren Enden Bürsten befestigt sind, die dem Ball erlauben sollen, sich mit seiner natürlichen Rotation zu bewegen. Außerdem sind die Kragarme genau so lang, dass sie, wie im Regelwerk bestimmt, den Ball nur zu einem Drittel überragen.



Abbildung 67: Die aktuelle Ballführung

Die Hauptprobleme dieses Konzepts liegen darin, dass eine Ballannahme nur möglich ist, wenn der Ball im genau richtigen Winkel in die Führung eindringt und es durch die ungünstige Lage der starren Balken zu einem Auflaufen des Roboters auf den Ball kommen kann. Ein Umstand der nicht nur den Roboter beschädigen kann, sondern auch unter der Regel „Ballklemmen“ im Turnierbetrieb verboten ist.

Grundsätzlich wird der Bauraum der Ballführung einerseits vom Modulbauraum, also dem darunter liegenden Fahrwerk und dem darüber liegenden Computermodul, andererseits von den an beiden Seiten angebrachten Pinball-Aktoren und natürlich den regulativen Vorgaben beschränkt. Durch diese Einschränkungen ist eine Anordnung wie sie in der zweiten Krikkit Generation gewählt wurde nicht mehr möglich, da die unteren Bürstenarme der Bewegung der Seitenschusseinheiten im Weg wären.

Des Weiteren geben die Regeln der RoboCup Bewerbe vor, dass der Ball zu nicht mehr als einem

Drittel seines Durchmessers von der Ballführung umschlungen werden darf. All diese Einschränkungen führen dazu, Konzepte zu entwickeln, bei denen die Ballführung über zwei Module, eine obere und eine untere Ballführung, realisiert wird. So werden die Seitenschusseinheiten nicht behindert und der Ball bestmöglich umschlungen. Zusätzlich sollen die verschleißintensiven Bürsten, deren Verhalten im realen Betrieb nur sehr schwer einzuschätzen ist, durch Elastomerrollen mit einer definierten Reibzahl zum Ball ersetzt werden. Diese Überlegungen führen dazu, dass neue Ansätze generiert und bewertet werden. Die drei wichtigsten, welche auf jeweils unterschiedlichen Aktorprinzipien basieren, sollen nachfolgend beschrieben werden.

4.4.1 Vergleich der Federaktoren

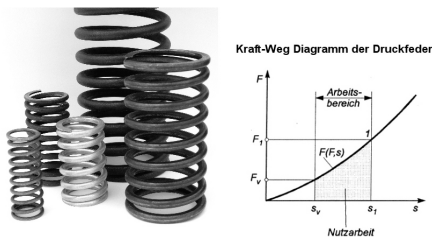


Abbildung 68: Die Details der Druckfeder⁴⁴

Als Alternativen zur Druckfeder können auch Tellerfedern, Ringfedern oder Elastomerfedern verwendet werden. Diese Varianten sind aber für den hier geplanten Einsatz nicht sinnvoll, da ein großer Federweg benötigt wird, der Bauraum verhältnismäßig klein und vor allem eine günstige Lösung von Vorteil ist.

Ein wichtiger Punkt im Rahmen der Druckfederauslegung ist die Berücksichtigung der Knickneigung. Ist ein großer Federweg im Vergleich zur Federlänge, wie im Falle der Ballführung, erwünscht, sollte die Feder mit Hilfe eines Dorns geführt werden.

Als Alternativen zur Druckfeder können auch Tellerfedern, Ringfedern oder Elastomerfedern verwendet werden. Diese Varianten sind aber für den hier geplanten Einsatz nicht sinnvoll, da ein großer Federweg benötigt wird, der Bauraum verhältnismäßig klein und vor allem eine günstige Lösung von Vorteil ist.

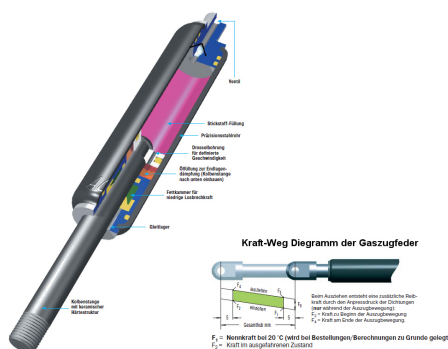


Abbildung 69: Die Gaszugfeder⁴⁵

Falle der Gaszugfeder beim Ausziehen eine zusätzliche Reibkraft, die durch den Anpressdruck der Dichtungen erzeugt wird.

Die Druckfeder

Die Druckfeder stellt die einfachste und zugleich kostengünstigste technische Lösung eines Federelements dar. Wird die Feder komprimiert (also verformt) kann sie Energie speichern. Dabei kann das Kraft-Weg-Diagramm durch die Wahl des Federwerkstoffs, die Federgeometrie oder das Zusammenschalten mehrerer Federn beeinflusst werden.

Ein wichtiger Punkt im Rahmen der Druckfederauslegung ist die Berücksichtigung der Knickneigung. Ist ein großer Federweg im Vergleich zur Federlänge, wie im Falle der Ballführung, erwünscht, sollte die Feder mit Hilfe eines Dorns geführt werden.

Als Alternativen zur Druckfeder können auch Tellerfedern, Ringfedern oder Elastomerfedern verwendet werden. Diese Varianten sind aber für den hier geplanten Einsatz nicht sinnvoll, da ein großer Federweg benötigt wird, der Bauraum verhältnismäßig klein und vor allem eine günstige Lösung von Vorteil ist.

Als Alternativen zur Druckfeder können auch Tellerfedern, Ringfedern oder Elastomerfedern verwendet werden. Diese Varianten sind aber für den hier geplanten Einsatz nicht sinnvoll, da ein großer Federweg benötigt wird, der Bauraum verhältnismäßig klein und vor allem eine günstige Lösung von Vorteil ist.

Die Gaszugfeder

Gaszugfedern sind genau wie herkömmliche Druckfedern beliebig einbaubar und wartungsfrei. Die Feder ist mit Stickstoffgas gefüllt, das bei der Belastung der Feder durch eine Drosselöffnung strömt und dadurch eine definierte Ein- oder Ausfahrgeschwindigkeit ermöglicht.

Der Druck dieses Gases kann mit Hilfe eines Ventils stufenlos geregelt werden, allerdings ist es sehr aufwendig die Stickstoffkammer neu zu befüllen, sollte ein höherer Druck gewünscht sein.

Der Kraft-Weg-Verlauf der Federn zeigt eine Progression (Krafterhöhung durch Druckanstieg). Außerdem wirkt im

⁴⁴Vgl.[JÜRGENS, Scriptum Maschinenelemente, 2011]

⁴⁵[ACE, Katalog, 2011]

Die wesentlichen Nachteile der Gaszugfeder liegen zum einen im Preis und zum anderen in der ungenauen Einstellbarkeit des Vorspanndrucks. In verschiedenen Datenblättern wird eine Abweichung von -20N bis +40N durch die abweichende Befüllung sowie eine Temperaturabhängigkeit der Vorspannkraft von ungefähr 3,5 Prozent je 10° angegeben.

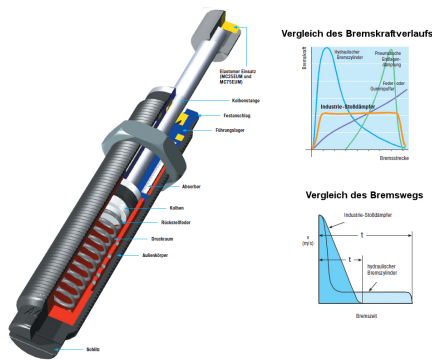


Abbildung 70: Details des Industriestoßdämpfers⁴⁷

Der Industriestoßdämpfer

Der große Vorteil von Industriestoßdämpfern ist das konstante Verhalten der Kraft über den Hub. Dieses wird durch eine Vielzahl von Drosselöffnungen in Hubrichtung realisiert. Dabei wird das Hydrauliköl, das die Gegenkraft erzeugt, durch diese Drosselöffnungen gedrückt. Je größer der Hub ist, desto weniger Öffnungen werden benutzt. Dadurch wird eine konstante Verzögerung erwirkt wodurch wiederum die angrenzenden Bauteile minimal belastet werden.

In qualitativ hochwertigeren Ausführungen ist der Stoßdämpferkörper aus dem Vollen gefertigt, was ein Herausbrechen des mit bis zu 1000bar beaufschlagten Tauchkolben verhindert und somit ein plötzliches Ausfallen des Dämpfungselements verhindert.

fungenselemente verhindert.

Durch diese Bauweise ist es möglich, unter der Verwendung hoher Innendrucke, sehr kleine Baugrößen zu realisieren - die so genannten Miniaturindustriestoßdämpfer.

Bewertung der Dämpfungselemente

Vergleich der Dämpfungsaktoren			
Kriterium	Druckfeder	Gaszugfeder	Industriestoßdämpfer
Baugröße	mittel	sehr groß	klein
Krafteinstellung	durch Federwechsel/ Federanordnung	über Ventil einstellbar, wird bereits vom Hersteller eingestellt	selbsteinstellend
Größe der erzeugten Kraft	von Federkonstante abhängig	bis 1440N	bis 360N
Kosten	gering	hoch	mittel
Kraft-Weg-Verhalten	Material/ Geometrieabhängig	linear	konstant

Tabelle 7: Vergleich der Dämpfungsaktoren

Obige Tabelle zeigt, dass die Druckfeder auf Grund ihrer einfachen, aber vielseitigen Anwendung sowie der Miniaturindustriestoßdämpfer ob seiner geringen Baugröße und des optimalen Kraft-Weg-Verlaufs sehr gut geeignet sind, um die Aufprallenergie des ankommenden Balles auf-

⁴⁷[ACE, Katalog, 2011]

zunehmen.

Nachfolgend sollen konstruktive Konzepte für alle drei Aktorvarianten aufgezeigt werden, um zu veranschaulichen, welche konstruktiven Überlegungen ausgehend von den verschiedenen Aktortypen getroffen werden können.

4.4.2 Konzept der Gaszugfeder

Wird die Gaszugfeder ziehend belastet wird die Stickstoff-Gasfüllung durch eine Drosselöffnung im Kolben gedrückt und die Dämpfung wirkt dem auftretenden Impuls proportional der Geschwindigkeit entgegen. In die entgegengesetzte Richtung unterstützt der strömende Stickstoff die aufgebrachte Kraft, eine Eigenschaft die sehr günstig für die Ballannahme wäre, da so, unter Ausnutzung einer Hebelgeometrie, eine definierte, über ein Ventil sogar arretierbare, Gegenkraft zum Impuls des ankommenden Balles erzeugt werden kann.

Dabei soll die Ballannahme einen möglichst großen Aufprallimpuls aufnehmen können und nach dem Prozess der Ballannahme so weich am Ball liegen, dass die entstehende Reibung keine signifikante Gegenkraft zum Schussimpuls darstellt.

Nachfolgende Abbildung zeigt die Hebelkonstruktion der Ballannahme. Der große Nachteil der Gaszugfedern ist ihre Baugröße.

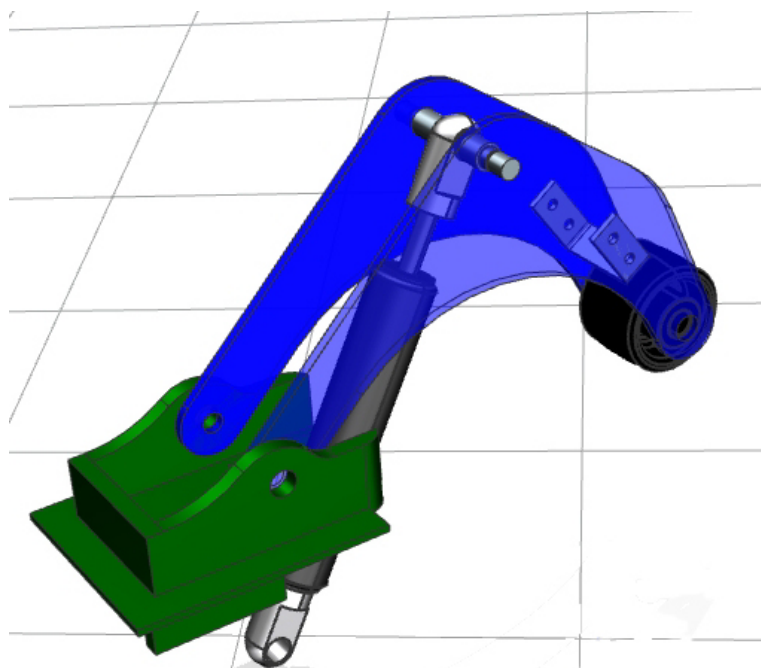


Abbildung 71: Konstruktion der oberen Ballführung mittels Gasdruckfeder

Obige Konstruktion ist aufgrund der Größe der Gaszugfedern nicht im Modul integrierbar. Außerdem müsste das gesamte Modul zusätzlich verdreht auf der Gehäusekonstruktion aufgesetzt werden, um sich im richtigen Winkel zum Ball zu befinden, was zusätzliche Bauraumprobleme hervorruft.

Aus diesem Grund wird in einem weiteren Konzept der Problematik der schiefen Tangentenebene, in welcher der Ball berührt werden muss, durch eine Neukonzeption des Arms entgegengewirkt.

4.4.3 Konzept der Feder

Um den Bauraum der oberen Ballführung möglichst gering zu halten wird die Ballführungsrolle mit Hilfe der Armgeometrie um zwei Achsen gedreht, um so im richtigen Winkel zum Ball ausgerichtet zu sein.

Zusätzlich können für diese Konstruktion Formrohre benutzt werden, die ein wesentlich höheres Flächenträgheitsmoment aufweisen als ebene Bleche und damit wesentlich steifer sind als das in Abbildung 71 beschriebene Konzept.

Außerdem ist es durch die günstige Lage des Hebels möglich, mit Hilfe einfacher Druck- oder Elastomerfedern, die Kraft, die auf den ankommenden Ball ausgeübt wird, zu regulieren. Der einzige Nachteil dieser Konstruktion ist die aufwendige Schweißbearbeitung. Um dem entgegenzuwirken, wird mit Hilfe von Standardprofilen eine Halterung gebaut (Abbildung 72 rechts), in welcher die Rohteile eingespannt und damit leicht verschweißt werden können.⁴⁸



Abbildung 72: Die obere Ballführung

Mit Hilfe einer Kонтerschraube auf der Unterseite der Federführung ist es außerdem möglich, die Ausgangsposition der Ballannahmearme rasch einzustellen.

4.4.4 Konzept des Industriestoßdämpfers

Das dritte Konzept basiert auf dem Einsatz von Miniaturindustriestoßdämpfern.

Ihr lineares Kraft-Weg-Verhalten ist ideal für eine kontrollierte Ballannahme. Da diese Stoßdämpfer alleine nicht die gesamte Aufprallenergie des Balles aufnehmen können und es im realen Betrieb vorkommen kann, dass ein Pass nur mit einer Seite der Ballführung angenommen wird, ist es sinnvoll, die Stoßdämpfer in einer Paaranordnung zu verbauen um die auftretenden Kräfte sicher aufnehmen zu können.

⁴⁸[siehe Anhang, Kapitel 6.2, Seite A -38]

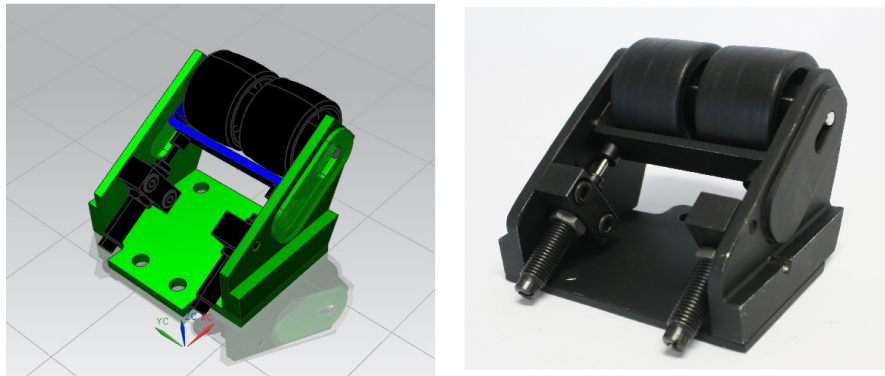


Abbildung 73: Die untere Ballführung

4.4.5 Entscheidungsbegründung

Folgende Übersicht vergleicht die drei Ansätze:

Vergleich der Ballführungskonzepte			
Kriterium	Gaszugfeder	Druckfeder	Industrie- stoßdämpfer
Baugröße	sehr groß	mittel	klein
Fertigungsaufwand	laserschneiden	schweißen	fräsen
Robustheit	gering	groß	mittel
Wechselaufwand	hoch	gering	gering
Kosten	hoch	gering	mittel

Tabelle 8: Vergleich der Ballführungskonzepte

Tabelle 8 zeigt, dass das Konzept der Druckfeder sowie jenes des Industriestoßdämpfers über klare Vorteile gegenüber der Gaszugfeder verfügen. Da der Bauraum vor allem für die untere Ballführung äußerst beschränkt ist, kommt hier das Konzept der Industriestoßdämpfer zum Einsatz. Die obere Ballführung wird hingegen mit Druckfedern realisiert, da bei dieser Lösung im realen Einsatz durch einfaches Tauschen der Federn die optimale Konfiguration herausgefunden werden kann.

4.5 Die Kupplung

Die Hauptschussseinheit ist sowohl für den geraden Schuss, das Passspiel, als auch für den hohen Schuss zuständig. Dabei ist es besonders wichtig, variable Einstellmöglichkeiten der beiden wichtigen Parameter Abschussgeschwindigkeit und Abschusswinkel für die Realisierung unterschiedlichster Flugkurven zu ermöglichen.

Im Zuge dessen ist die Variierung der Schussgeschwindigkeit sehr einfach zu lösen. Denn diese hängt direkt von der Beschleunigung des Hauptschussaktors und damit weiter mit dessen Ventilöffnungszeit zusammen. Diese Einstellung ist in der Schaltungselektronik wiederum so gelöst, dass sie von der Software vorgenommen werden kann (Siehe Kapitel 4.7).

Somit ist noch eine Änderung des Abschusswinkels zu realisieren. Dies soll mit einem Kupplungsmechanismus geschehen, der schnell, sicher, zuverlässig und mit möglichst geringem Einfluss auf die Schusskinematik (Verhinderung ungewollter Reibungseffekte) operiert.

Ein zusätzlicher Aspekt ist die effektiv bewegte Masse der Schusseinheit. Zwar erhöht sich mit einer höheren Masse der beim Schuss übertragene Impuls, allerdings wird dementsprechend auch die Rückwirkung auf das Robotergehäuse größer und es kommt zu ungewollt großen Erschütterungen.

Zuerst sollen nun verschiedene, für den Einsatz geeignete Kupplungsaktoren vorgestellt werden, um danach drei Ansätze für die Konzipierung des Kupplungsmechanismus zu erläutern und zu bewerten.

4.5.1 Vergleich der Kupplungsaktoren



Abbildung 74: Details des DC Motors⁵⁰

Ausfallswahrscheinlichkeit führt, oder unter Zuhilfenahme eines Seilzuges realisiert werden.

Setzt man einen Seilzug ein, entsteht allerdings das Problem, die benötigte Gegenkraft bereitstellen zu müssen. Dies könnte beispielweise mit einer Federmechanik gelöst werden, was allerdings wieder zu einer Komplexitätssteigerung des Gesamtsystems führt.

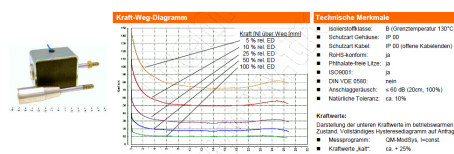


Abbildung 75: Details des Hubmagneten⁵²

Der große Nachteil dieses Konzepts liegt allerdings im Gewicht. Ein handelsüblicher Magnet für einen Hub von 20mm erreicht sehr schnell ein Gewicht von bis zu 1kg.

Der Gleichstrommotor

Der Gleichstrommotor ist ein sehr einfach anzusteuender, billiger Aktor, der gleichzeitig durch sein niedriges Gewicht punkten kann. Die Hauptproblematik dieser Aktorvariante liegt darin, dass eine rotatorische Bewegung in eine Linearbewegung umgesetzt werden muss. Dies kann entweder mit Hilfe eines Getriebes erreicht werden, was allerdings zu Gewichtszuwachs und durch aufwendige Mechanik zu erhöhter

Der Hubmagnet

Eine wesentlich einfachere Lösung bietet dagegen der Bügelhubmagnet. Hier wird ein Metallstößel durch Anlegen eines Stromes in einer Tauchspule, dem Lorentz Gesetz folgend, bewegt und so eine lineare Kraft-Weg-Kennlinie erwirkt.

Hubmagnete sind sehr robuste und vor allem äußerst kostengünstige Bauteile und können sehr schnelle Verfahrensgeschwindigkeiten realisieren.

⁵⁰[ELRA, Datenblatt DC Motor, 26.4.2011]

⁵²[TREMBA GmbH, Datenblatt, 26.4.2011]

⁵⁴[ELRA, Datenblatt Linearmotor, 26.4.2011]

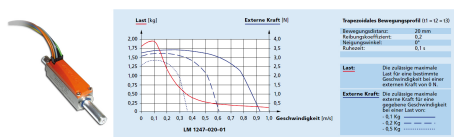


Abbildung 76: Details des Linear-motors⁵⁴

beeindrucken mit sehr hohen Beschleunigungen, großen Hublängen, robuster Bauweise, hoher Wiederholgenauigkeit sowie minimalem Gewicht.

Der einzige Nachteil der Motoren ist die dazugehörige Steuerung, da diese nicht nur ein Platz- sowie Gewichtproblem darstellt, sondern auch preislich stark ins Gewicht fällt. Ein Miniaturlinear-motorsystem kann so leicht das 100-fache eines Hubmagnetensystems kosten.

Der Linearmotor

Die Miniaturlinearmotoren stellen eine der aktuell fortschrittlichsten Aktorprinzipien dar. Sie funktionieren nach dem Prinzip herkömmlicher Linearmotoren durch die nacheinandergeschaltete Bestromung von Spulen. Miniaturlinearmotoren beeindrucken mit sehr hohen Beschleunigungen, großen Hublängen, robuster Bauweise, hoher Wiederholgenauigkeit sowie minimalem Gewicht.

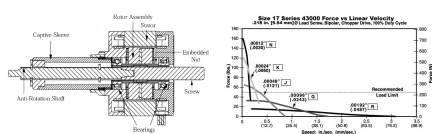


Abbildung 77: Details des linearen Schrittmotors⁵⁶

Der lineare Hybridschrittmotor

Eine attraktive Mischung aus Linearmotor und Schrittmotor stellt der kaptive Linearschrittmotor dar. Dabei wird, ähnlich einem Schneckengetriebe, eine Spindel von einem Schrittmotor linear verfahren. Diese Spindel ist allerdings so ausgeführt, dass mit Hilfe einer Verdrehsicherung, die Drehbewegung leicht kompensiert werden kann. Dabei wird außerdem eine sehr hohe Präzision, schnelle Verfahrgeschwindigkeit und ein akzeptabler Hub bei durchschnittlicher Haltekraft erreicht.

Der größte Nachteil des Linearschrittmotors ist, dass die Spindel nur sehr geringe Querkräfte aushält, sie muss daher ausreichend geschützt werden.

Bewertung der Kupplungsaktoren

Vergleich der Kupplungsaktoren				
Kriterium	DC Motor	Hubmagnet	Linearmotor	Hybridmotor
Baugröße	klein	klein	sehr klein	mittel
Gewicht	mittel	groß	sehr klein	mittel
Verfahrgeschwindigkeit	sehr groß	sehr groß	mittel	mittel
Notfallverhalten	Positionsverlust	Positionsverlust	Home Position anfahren	selbsthemmende Spindel
erzeugte Kraft	mittel	mittel	groß	mittel
Kosten	gering	sehr gering	sehr hoch	mittel
Robustheit	robust	sehr robust	wenig robust	wenig robust

Tabelle 9: Vergleich der Kupplungsaktoren

In Tabelle 9 ist zu erkennen, dass der Linearmotor vor allem durch seine sehr hohen Anschaf-

⁵⁶[HAYDON KERK, Datenblatt linearer Hybridmotor, 26.4.2011]

fungskosten auffällt, was dazu führt, dass er für die weiteren Überlegungen keine Relevanz hat. Nachfolgend soll die Konstruktionsevolution der oben beschriebenen Kupplung dargestellt werden. Dabei werden Lösungen vorgestellt, die sowohl Schrittmotoren, den kaptiven Linearschrittmotor, als auch den Hubmagneten als Aktor einsetzen.

4.5.2 Der Ansatz des Universalpendels

Ein erster Konzeptvorschlag geht von einem Umschaltmechanismus, der in das Schusspendel integriert ist, aus.

Der Vorteil dieser Anordnung ist eine stufenlose Einstellbarkeit der Pendelgeometrie, sodass jede beliebige Schussparabel erreicht werden kann. Dabei bleibt der Hauptschussaktor ständig mit dem Pendel verbunden und dieses kann über verschiedene Miniaturgleichstrommotoren die eigene Kontur so anpassen, dass alle gewünschten Abschusswinkel stufenlos eingestellt werden können.

Zum Einsatz kommen dabei zwei Stellaktoren, die einerseits die vertikale Lage des Pendels beziehungsweise des Kraftangriffspunktes des Hauptschusszylinders und andererseits den Winkel der Pendelschaukel regeln.

Zusätzlich ist der gesamte Aufbau linear in Schussrichtung gelagert, um den geraden Schuss zu ermöglichen. Da diese Anordnung zu sehr großen bewegten Massen führt, wäre es auch möglich, die Achse, die den Hauptschusszylinder mit dem Pendel verbindet, über einen Schrittmotor ein- und auszufahren und somit den geraden vom hohen Schuss zu entkoppeln.

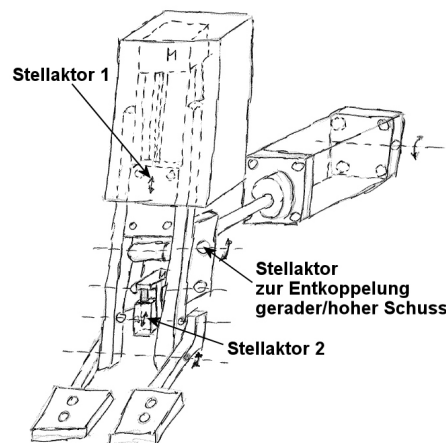


Abbildung 78: Konzept des Universalkickelements

Ein weiterer großer Nachteil dieses Konzepts liegt darin, dass sämtliche Stellaktoren auf der bewegten Konstruktion montiert sind und damit den großen Kräften des Schussvorgangs ausgesetzt werden.

Des Weiteren verzögert die Positionierung des Pendels durch die beiden Aktoren den Schussprozess und verhindert damit einen agilen Spielaufbau.

4.5.3 Der Ansatz des Druckverriegelns

Da der größte Nachteil des im vorangegangenen Abschnitts behandelten Konzepts die Belastung der Aktoren während des Schusses darstellt, soll eine Lösung gefunden werden, bei der jegliche Stellaktoren auf der Modulgrundstruktur montiert werden. Dafür muss auf die stufenlose Einstellung des Pendels verzichtet werden, was allerdings zu keinen größeren Nachteilen führt, da durch die Regelbarkeit der Geschwindigkeit des Hauptschusszylinders eine ausreichende Variation der Schussparabel möglich ist (siehe Kapitel 2).

Einzig eine Entkoppelung des geraden Schusses zum hohen Schuss muss weiterhin gegeben sein. Das folgende Bild zeigt die Konstruktion eines solchen Kupplungsmechanismus'.

Als Stellaktor fungiert dabei ein Bügelhubmagnet, der eine Kupplungsplatte (das so genannte U-Element) in den Kupplungsgrundkörper drückt. Dort wird das U-Element mit Hilfe eines Rückhaltelements in Position gehalten.

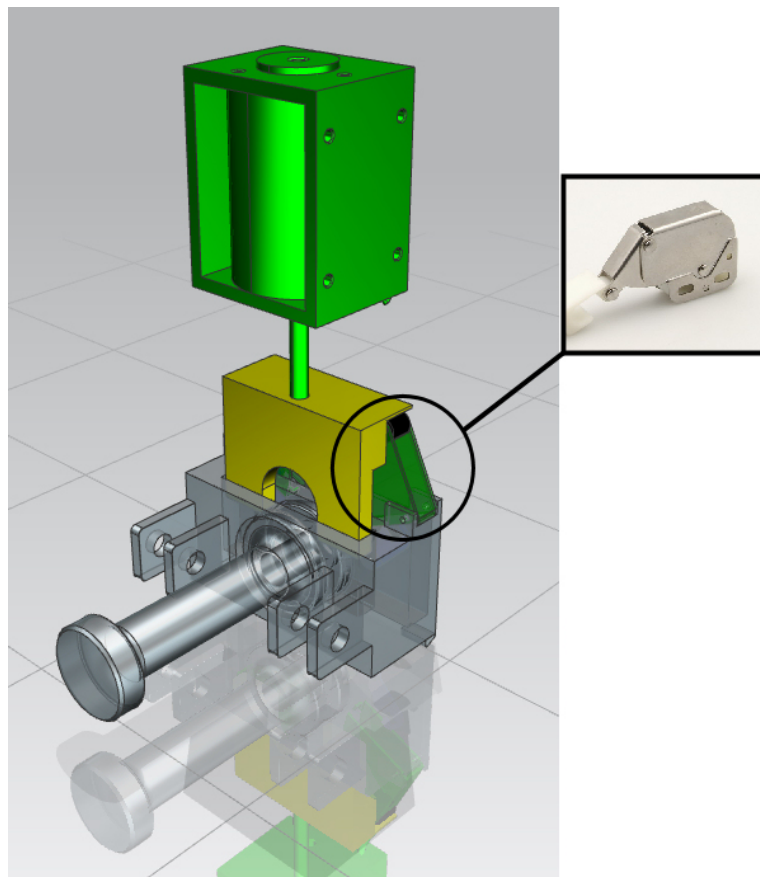


Abbildung 79: Konzept eines Hubmagneten mit Schnappschlosstechnologie

Dieses Rückhalteelement ist einem Schnappschloss (Mini Latch) nachempfunden. Der Stellaktor, ein Bügelhubmagnet, drückt dabei das U-Element nach unten. Dieses verdreht über die Latchrolle den Schnappmechanismus. Erreicht das U-Element den tiefsten Punkt, befindet sich der Schnappmechanismus in der in Abbildung 80.2 dargestellten Position. Geht der Stößel des Hubmagneten wieder nach oben, rastet der Schnappmechanismus in der Nut des Rückhalteelements ein und schließt so die Verbindung. Da der Schnappmechanismus mit Hilfe einer Drehfeder eine nach oben gerichtete Kraft erfährt und das Rückhalteelement mittels einer Druckfeder an die hintere Wand des Kupplungsgehäuses gedrückt wird, verspannt sich der Schnappmechanismus mit

dem Rückhalteelement und sitzt fest (Abbildung 80.3).

Will man nun die Verbindung wieder öffnen, reicht es das U-Element mittels des Stellaktors wieder in die unterste Stellung (Abbildung 80.2) zu bringen. Nun bewegt sich der Schnappmechanismus über die schiefe Ebene in Richtung der Bildnormalen, kuppelt aus und wird von der Drehfeder wieder in die Ausgangslage gedrückt.

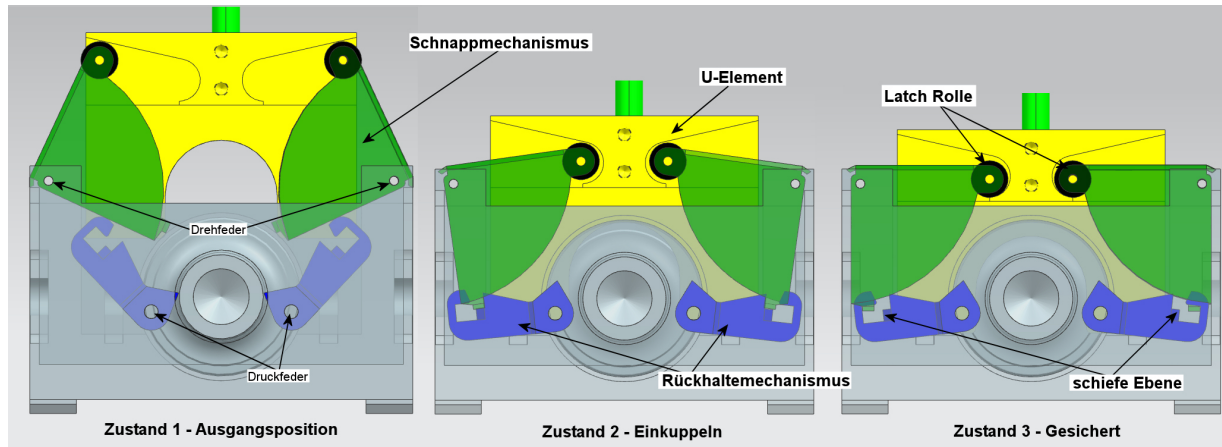


Abbildung 80: Details des Kupplungsvorgangs

Der große Nachteil dieses Ansatzes ist das hohe Gewicht, das vom Hauptschussaktor beschleunigt werden muss und der damit verbundene hohe Impuls im Endanschlag, der wiederum eine starke Erschütterung des Moduls zur Folge hat.

Zusätzlich ist zu bezweifeln, ob die filigrane Mechanik des Schnappverschlusses den beim Schuss auftretenden Kräften zuverlässig entgegenwirken kann.

Außerdem tut der Stellaktor mit beinahe 1kg Gewicht das Seine zur schlechten Gewichtsbilanz des Systems.

Aus diesem Grund ist es notwendig, die Funktionsweise der Kupplung noch einmal zu vereinfachen, die Funktionssicherheit zu gewährleisten und die bewegte Masse zu minimieren.

4.5.4 Der Ansatz des Schiebelements

Da das Prinzip einer mechanischen Verriegelung des U-Elements auf Grund der auftretenden Kraft bei Schüssen oder Kollisionen eine zu große Ausfallswahrscheinlichkeit besitzt, wird nun gänzlich auf diesen Aufbau verzichtet. Das U-Element wird nun in einem Schacht des Kupplungsgehäuses geführt und von einem linearen Schrittmotor in die beiden Kupplungsstellungen gebracht.

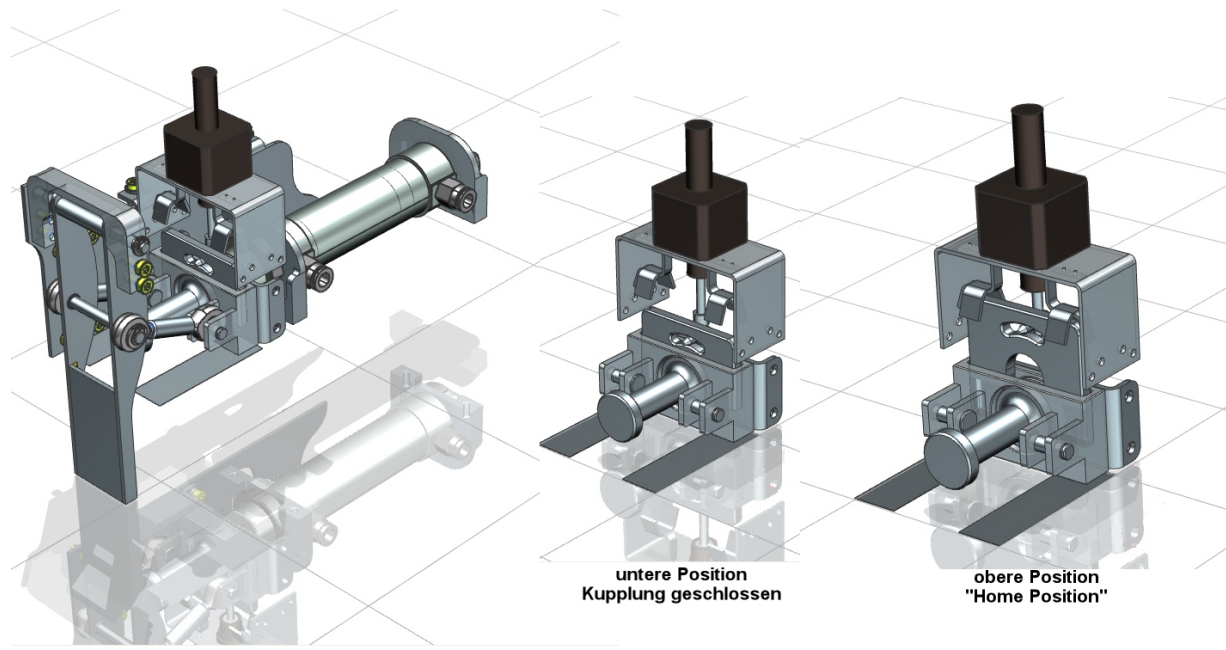


Abbildung 81: Konzept eines Schiebeelements

Dieser erodierte Schacht ist auf der Innenseite mit Gleitklebebändern versehen, um die, der Aktorkraft entgegenwirkende Reibkraft zu minimieren.

In der unteren Position ist das U-Element eingekuppelt, die Kupplung also geschlossen und es wird ein hoher Schuss ausgeführt. Verfährt der Stellaktor das U-Element in die obere Position wird die zentrale Durchgangsbohrung geöffnet und der Hauptaktorstößel fährt durch das Kupplungsgehäuse durch, um einen geraden Schuss zu bewerkstelligen.

Das U-Element wird in dieser Zeit durch die beiden, aus Kunststoff gefertigten, Halteklammern in der richtigen Position fixiert.

Dieser Kupplungsvorgang geschieht immer in der Ausgangsposition des Schusszylinders, der so genannten *Home Position*.

Als Stellaktor wird ein linearer Hybridschrittmotor verwendet, dessen Spindel verdrehgesichert und selbsthemmend ausgeführt ist.

Durch diesen Umstand ist es notwendig im Falle eines plötzlichen Stromausfalles immer wieder einen definierten Zustand der Kupplung herzustellen.

Im schlimmsten Fall kann es dabei passieren, dass der Schusszylinder in der Rückwärtsbewegung ist, während der Schrittmotor sich noch nicht in der vorgesehenen Kupplungsposition zum Einfädeln in das U-Element befindet.

Für diesen Fall ist der Kupplungsfinger, der am Ende der Stellmotorspindel befestigt ist, elastisch gelagert, um etwaige Kollisionen mit dem zurückverfahrenen U-Element zu verhindern und die querbelastungsanfällige Spindel zu schützen.

Wird ungewollt ein Schuss ausgelöst, ist es hingegen völlig gleichgültig, in welcher Position sich die Kupplung befindet, da der Kupplungsfinger so ausgeführt ist, dass das U-Element stets nach vorne verschoben werden kann.

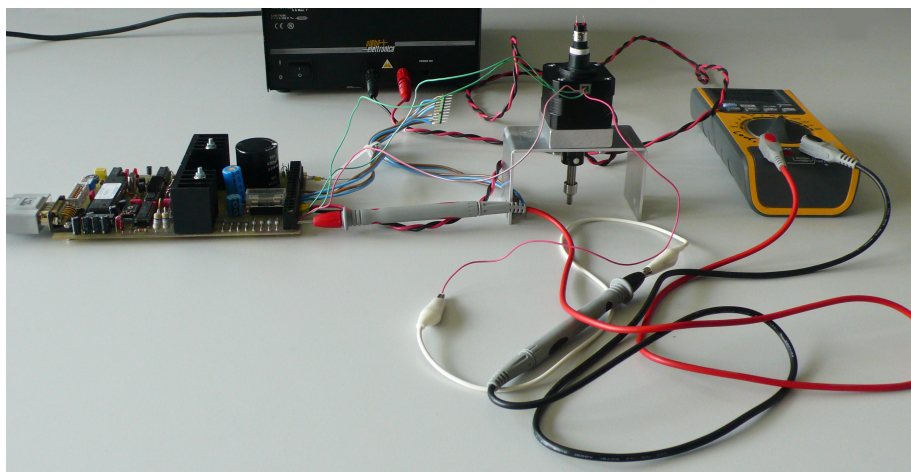


Abbildung 82: Prüfstands-aufbau des linearen Schrittmotors

Die Verfahrgeschwindigkeit des linearen Schrittmotors wird in einem einfachen Versuchsaufbau (siehe Abbildung 82) getestet. Dabei wird der Schrittmotor mit einer eigenen Schrittmotorsteuerung betätigt. Diese Steuerung ist in weiterer Folge Teil der Modulplatine (Siehe Kapitel 4.7) und wird vom Modul für Elektronik konfiguriert und programmiert.

Die Versuchsreihe zeigt, dass der Motor ausreichend schnell verfährt (ein Kupplungsvorgang dauert weniger als 0.5 Sekunden), und die Spindel sehr robust ausgeführt ist.

4.5.5 Entscheidungsbegründung

Folgende Tabelle vergleicht die drei Ansätze:

Vergleich der Kupplungskonzepte			
Kriterium	Universalpendel	Hubmagnet	Linearschrittmotor
Baugröße	sehr groß	klein	klein
Ausfallswahrscheinlichkeit	groß	groß	gering
Bewegte Masse	groß	mittel	gering
Masse des Aktors	mittel	groß	gering
Einstellgeschwindigkeit	mittel	schnell	schnell
Fertigungsaufwand	laserschneiden	fräsen und erodieren	fräsen und erodieren
Robustheit	mittel	gering	hoch
Aktoransteuerung	2 Spulen/Aktor	1 Spule/Aktor	2 Spulen/Aktor
Kosten	hoch	gering	mittel

Tabelle 10: Vergleich der Kupplungskonzepte

Tabelle 10 zeigt, dass eine Beschränkung auf die wesentlichen Funktionen die beste Lösung darstellt. Wie bereits erwähnt, können durch Variation der Ventilöffnungszeiten alle relevanten Schussparabeln realisiert werden. (Die Versuchsreihe in Kapitel 3.5 wurde unter Einsatz der beschriebenen Kupplung durchgeführt).

Außerdem stellt diese Lösung das niedrigste Gesamtgewicht dar, was ein zusätzlich sehr wesentlicher Faktor für die Entscheidungsfindung ist. Das System arbeitet im praktischen Einsatz tadellos, es ist nur anzumerken, dass auf der Steuerplatine des Handlingmoduls ein Spannungswandler für die Schrittmotoransteuerung vorgesehen sein muss, da, um schnellere Verfahrensgeschwindigkeiten zu erreichen, der Hybridschrittmotor nur mit 2,33 Volt betrieben wird.

4.6 Der pneumatische Kreis

Wie in Kapitel 2.4 dargelegt, ist auch die dritte Generation der Krikkit Roboter mit einem pneumatischen Schussmechanismus ausgestattet. Für die Konstruktion hat diese Entscheidung vor allem den Vorteil, dass mehrere Aktoren ohne einen großen Gewichtszuschlag verbaut werden können. Vor allem aber soll der optimale Kraft-Weg-Verlauf der pneumatischen Muskeln genutzt werden. Da dieser Muskel allerdings seine großen Vorteile - eine bei gleicher Baugröße um bis zu 10-fach größere Kraft gegenüber einem Normpneumatikzylinder - nur über einen sehr kurzen Hub realisieren kann, ist es nicht nur wichtig, den Ball genau an der richtigen Stelle zum Schussmechanismus zu platzieren, es ist außerdem unabdingbar für eine optimale und möglichst konstante Luftzufuhr von der Druckluftflasche zum Aktor zu sorgen. Dabei gilt es auch nicht zu vergessen, dass die Möglichkeit besteht, dass alle drei Aktoren direkt hintereinander oder gar gleichzeitig betätigt werden müssen. Der pneumatische Kreis muss also auf diesen Extremfall ausgelegt werden und es muss erreicht werden, dass der Betriebsdruck nur unmerklich zwischen den einzelnen Aktoreinsätzen abfällt. Bei einem zu großen Druckabfall würden die Aktoren zu wenig Impuls übertragen oder, im Ernstfall, gar nicht mehr auslösen.

Den Flaschenhals des Systems stellt dabei das Druckminderventil, das den Flaschendruck von 200 bar auf 6 bar Arbeitsdruck regelt dar, da es einen sehr geringen Durchmesser von lediglich 3/8 Zoll besitzt und damit den Durchfluss äußerst negativ beeinflusst.



Abbildung 83: Druckluftflasche mit Regelventil und Adapter⁵⁷

Um diesen Effekt zu kompensieren ist hinter der Druckluftflasche ein Zwischentank eingebaut, der ein Luftvolumen für bis zu 4 Schüsse zur Verfügung stellt ohne neue Luft nachgeladen zu bekommen. In der Zeit, in der diese vier Schüsse allerdings durchgeführt werden, liefert die Druckluftflasche bereits so viel Luft nach, dass weitere Schüsse möglich sind. So ist der Einsatz der Aktoren

⁵⁷[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 9

lediglich durch das Restluftvolumen in der Druckluftflasche begrenzt.

Des Weiteren sind sämtliche pneumatischen Verbindungen als Y-Steckverbindungen oder gerade Verbindungen ausgeführt, um Luftstaus, wie sie in 90° Winkeln gerne auftreten, auszuschließen. Der Verzicht auf diese Winkel, die zu einem Durchflussverlust von 25 Prozent führen, stellt einen großen Vorteil der aktuellen Generation im Vergleich zur alten Generation dar, bei der gerade diese Verbindungselemente zu vielen unnötigen Engpässen geführt haben.

Ein weiterer wichtiger Punkt sind die kurzen Wege zwischen Ventil und Aktor, die wiederum zu einem schnelleren Reagieren der Muskel und des Hauptschusszylinders führt.

4.6.1 Die Aktoren

Basierend auf der Wahl der richtigen Aktoren (siehe Kapitel 2.4) soll nachfolgend beschrieben werden, wie die Aktoren konstruktiv in das Modul integriert sind. In einem ersten Ansatz wird versucht sämtliche Aktoren mit der Hilfe von *Fluidic Muscles* zu realisieren. Als zentrales Problem stellt sich dabei der Umstand heraus, dass der Muskel nur als kontrahierender Aktor zum Einsatz kommen kann, was den Einsatz als Hauptschussaktor sehr erschwert, da eine kinematische Bewegungsumkehr nur durch eine mechanisch aufwendige Konstruktion durchzuführen ist. Dieser Aufwand, gepaart mit dem Wunsch einer Kupplung in Hauptschussrichtung, führt nicht nur zu einem wesentlich höheren Gewicht, sondern auch zu einer Komplexitätssteigerung und höheren Fehleranfälligkeit des Systems. Aus diesem Grund wird auch weiterhin ein konventioneller pneumatischer Rundzylinder als Hauptschussaktor eingesetzt, obwohl dieser einen wesentlich härteren Endanschlag besitzt.

Im Rahmen einer morphologischen Analyse wurden verschiedene Ansätze zur Kompensation dieses Endanschlagimpulses generiert und bewertet. Dabei wurden verschiedene Konzepte, wie etwa das Prinzip des Rohrrücklaufs, der ein großes Anwendungsgebiet in der Ballistik aufweist oder die Verwendung eines Linearschlittens, bei dem die Beschleunigungskurve exakt vorgegeben werden kann, betrachtet.

Erstere Lösung musste auf Grund der großen inneren Kräfte beziehungsweise des Bauraums verworfen werden, allerdings ist es mit konventionellen Linearschlitten der passenden Baugrößen nicht möglich, die benötigte Maximalgeschwindigkeit zu erreichen.

So fällt die Entscheidung auf die einfachste, preiswerteste und gleichzeitig sehr effiziente Lösung der Endlagendämpfung.

Dabei kann mit Hilfe einer Stellschraube eine zusätzliche Bohrung geöffnet werden und so, innerhalb der letzten 18 Millimeter Hub, der dem Stößel entgegenwirkende Druck eingestellt werden. Zusätzlich kann eine aktive Endlagendämpfung, wie in Kapitel 4.7 beschrieben, eingesetzt werden, um die Erschütterungen, die durch den Schussvorgang hervorgerufen werden minimal zu halten.

Im Gegensatz zum Hauptschusszylinder können die Seitenschusseinheiten sehr wohl einfach und unkompliziert mit Hilfe von *Fluidic Muscles* gelöst werden. Dabei wird das Hebelgesetz genutzt und es kommt eine Klappenvorrichtung, im Sinne eines Pinball-Arms, zum Einsatz. Durch die unterschiedliche Länge der Hebel auf Aktor- sowie Ballseite ist es mit dieser Anordnung möglich, die Geschwindigkeit des *Fluidic Muscles* erheblich zu steigern. Da der Muskel unter Last allerdings

an Geschwindigkeit verliert, wird eine geringere Geschwindigkeit als mit dem Hauptschusszylinder erreicht.

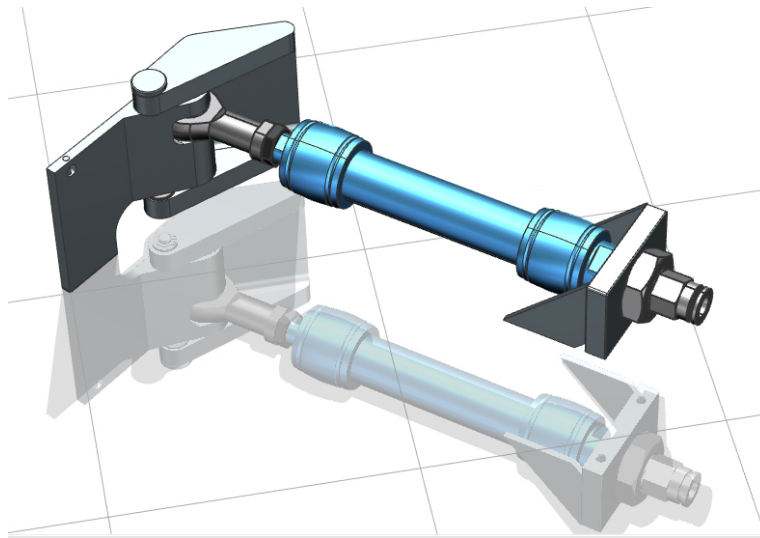


Abbildung 84: Seitenschusseinheit mit Seitenaktor⁵⁸

Dies führt jedoch zu keinem Problem, da die Seitenschusseinheiten hauptsächlich zum Passen vorgesehen sind und nur im Falle einer sehr geringen Distanz zum gegnerischen Tor auch als Schussaktoren zum Einsatz kommen sollen. Besonders wichtig beim richtigen Einbau des *Fluidic Muscles* ist es, den Kraftfluss vom Muskel weg zu beachten und die Anbindungen zum Roboter so zu gestalten, dass die im Anfangshub sehr große Kraft von den Elastomerelementen gleichmäßig aufgenommen werden kann.

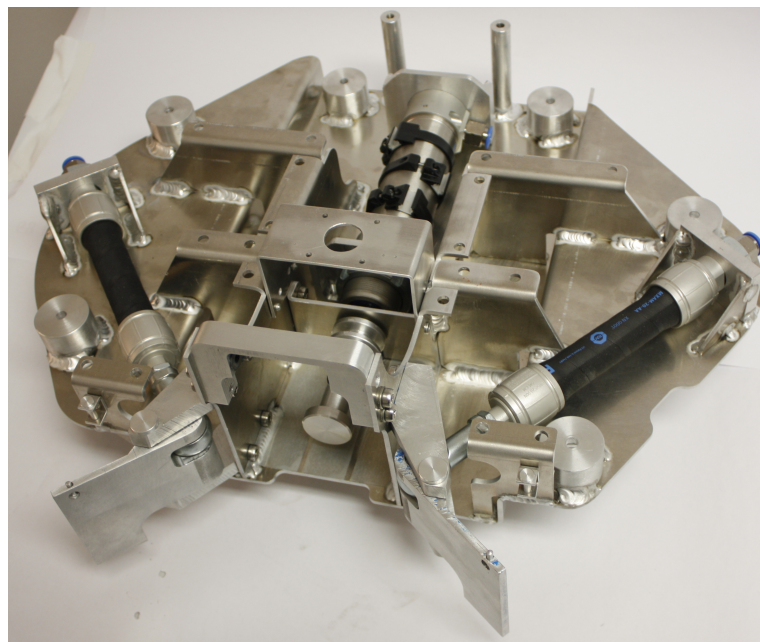


Abbildung 85: Die Anordnung der Aktoren im Gehäuse

⁵⁸[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 11

⁵⁸[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 11

4.7 Die elektrische Steuerung

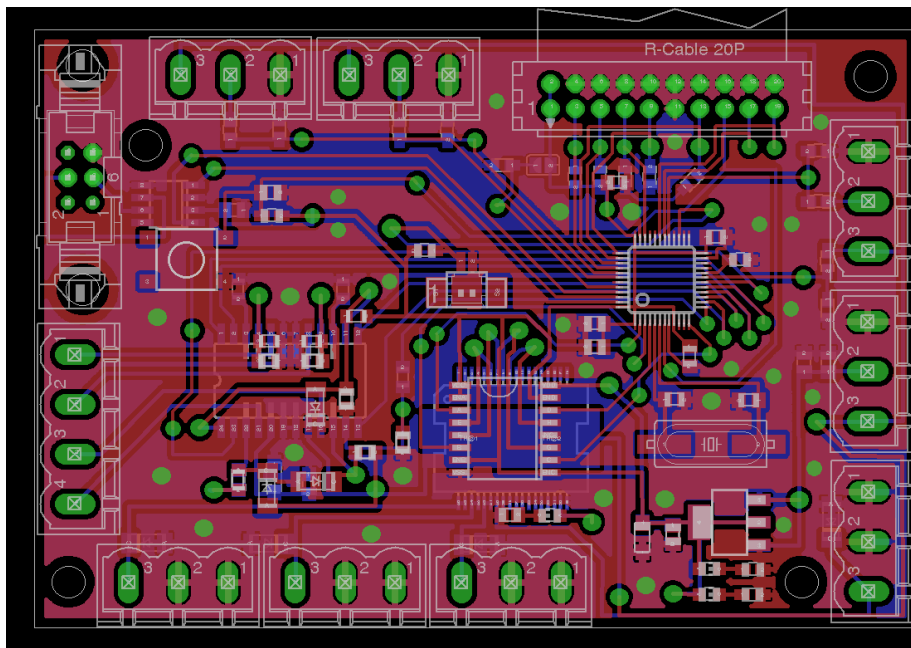
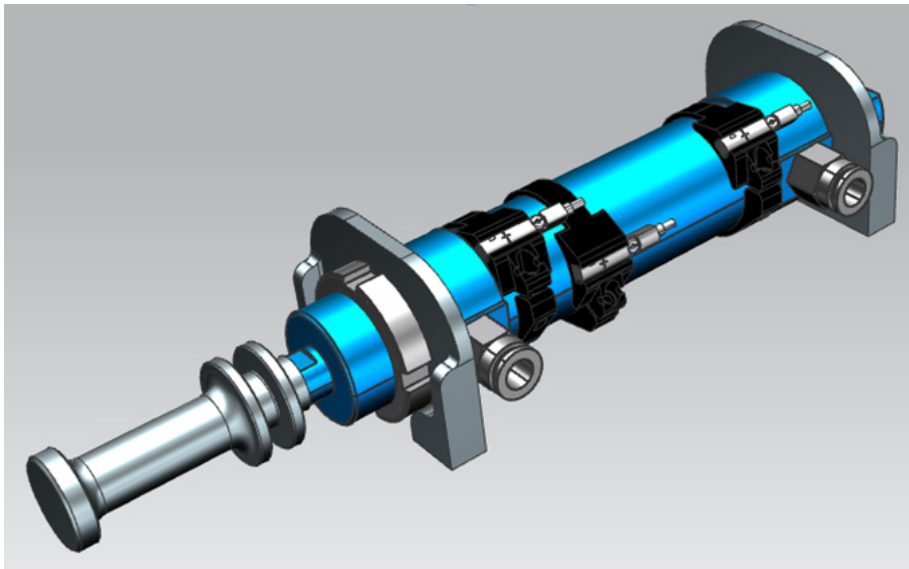


Abbildung 86: Das Layout der Kickerplatine

Die Steuerung der drei Aktoren sowie die des linearen Hybridmotors wird von einer vom Mostly Harmless Team selbst entworfenen, geätzten und bestückten Platine realisiert. Zusätzlich zu den über die Microcontrollersoftware einstellbaren Schaltzeiten der Ventile ist es außerdem möglich, drei am Hauptschusszylinder angebrachte Näherungssensoren auszulesen und damit eine aktive Endlagendämpfung zu realisieren.

Die grundlegende Idee der aktiven Endlagendämpfung ist es, das Rückführventil des Hauptschusszylinders vor dem Endanschlag zu öffnen, um einen pneumatischen Gegendruck auf den Stößel auszuüben und diesen damit zu bremsen. Dies kann auf zwei Arten geschehen. Zum einen kann ein statisches Zeitintervall programmiert werden nach dem das Gegenventil öffnen soll, zum anderen kann das Öffnen von einem Näherungssensorimpuls gesteuert werden.

Diese Form der Endlagendämpfung wäre vor allem dann von Vorteil, wenn eine hohe Taktzahl an Schüssen mit dem Hauptschusszylinder abgegeben wird. Dies kommt bei der aktuellen Programmierung vor allem beim Tormannroboter oft vor. In diesem Fall sinkt der Arbeitsdruck im Pneumatikkreis kurzzeitig ab, da das Druckregelventil nur begrenzt Luftmasse in den Zwischentank nachliefern kann. Sollte dies geschehen, ist auch der Weg, den der Stößel in der statisch programmierten Zeit zurücklegt geringer und die Endlagendämpfung würde zu früh zum Einsatz kommen.

Abbildung 87: Die Sensoranordnung am Zylinder⁵⁹

Wird hingegen die Dämpfung durch das Signal eines Näherungssensors zugeschaltet, wäre sie vom Luftdruck unabhängig und damit wesentlich effektiver einsetzbar. Mit den anderen beiden Näherungssensoren ist es möglich zu ermitteln, in welcher Endlage sich der Stößel befindet, was zum einen der Sicherheit beim Umgang mit dem Modul entgegenkommt und zum anderen eine wichtige Information für die in Zukunft auf dem Roboter integrierte Onboarddiagnose darstellt.

Neben dem Hauptschusszylinder und dem Stellaktor werden auch die *Fluidic Muscles* von der Kickerplatine gesteuert. Dabei ist wichtig anzumerken, dass es möglich ist, bei einer richtigen Ansteuerung der beiden Pinball-Arme dem Ball eine Rotation aufzuprägen, also einen Spin zu erzeugen.

Dabei verschiebt der eine Arm den Angriffspunkt zwischen dem Ball und dem anderen Arm, was wiederum dazu führt, dass bei einer zeitversetzten Auslösung des zweiten Arms eine zweite Geschwindigkeitskomponente aufgeprägt werden kann und der Ball rotiert.

Da die genaue Konfiguration dieses Schussvorgangs allerdings rein über die in der Software eingestellten Ventilschaltzeiten durchgeführt wird, soll dieses Schussverhalten zu einem späteren Zeitpunkt vom Modul „Software“ behandelt werden.

Eine weitere Besonderheit der Kickerplatine ist die Anbindung an die zukünftig am Roboter eingesetzte On-Board-Diagnose. Diese funktioniert in ihren Grundzügen so, dass alle elektronischen Bauteile einen so genannten *Heartbeat*, also ein in vorgegebenen Intervallen gesendetes Signal, an die Platine übertragen, um anzuzeigen, dass sie einwandfrei funktionieren.

Abschließend sei an dieser Stelle angemerkt, dass die genaue Einstellung der Ventilöffnungszeiten erst im realen Turniereinsatz optimal bestimmt werden kann. Durch den Umstand, dass sämtliche Einstellungen aber über die Software zu tätigen sind, ist dies einfach und schnell im Rahmen des nächsten Auftritts des Roboters zu bewerkstelligen.

⁵⁹[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 10

5 Verifizierung des Handlingmoduls

Abschließend soll das neu entwickelte Handlingmodul mit der bereits bestehenden Konstruktion verglichen werden, kurz auf das Realisieren des vorgegebenen Gewichtslimits eingegangen werden sowie die abschließenden Versuchsreihen des Gesamtsystems beschrieben werden.

5.1 Vergleich der alten und neuen Generation

Kriterium	Krikkit 3G	Lastenheft	Krikkit 2G
Gewicht	9,7kg	10kg	5kg
Schuss vertikal	Variabel	Variabel	Statisch
Schuss horizontal	3 Schussrichtungen	1 Schussrichtung	1 Schussrichtung
Schussgeschwindigkeit	Bis 12 m/s	10m/s	8m/s
Abschusswinkel	Max. 0 - 42,7°	Variabel	~ 15°
Arbeitsdruck	6bar	3bar	3bar
Erschütterung der Roboterstruktur	Gering durch Feder/Dämpfer	Möglichst gering	Hoch
Aufwand Ein/Ausbau	6 Schraub- verbindungen	Modularen Grundgedanke einhalten	Wechseln nicht möglich
Pneumatischer Kreis	Wenig Verluste	Verluste minimieren	Hohe Verluste
Anzahl der Aktoren	3	1	1
Robustheit Schussvorgang	Genau / Reproduzierbar	Genau / Reproduzierbar	Nicht robust
Aktorwahl	Pneumatik	Optimale Lösung finden	Pneumatik
Ballannahme	Einstellbar durch Federn	Einstellbar	Starr

Abbildung 88: Vergleich der Krikkit Generationen

Abbildung 88 zeigt die deutlichen Vorteile des neuen Handling-Konzepts gegenüber dem Vorgänger. Das erhöhte Gewicht stammt aus dem Anspruch, ein in sich geschlossenes, leicht auszutauschendes System zu schaffen. Es wurde allerdings beim Platzieren der einzelnen Komponenten innerhalb des Moduls darauf geachtet, schwerere Elemente möglichst tief anzuordnen, um den Schwerpunkt nicht unnötig anzuheben.

Der größte Vorteil des neuen Moduls ist wohl die Variabilität der Schussmöglichkeiten. Durch den Einsatz der beiden *Fluidic Muscles* erhält man zwei zusätzliche Schussrichtungen in der horizontalen Ebene und durch die neu konzipierte Pendelkonstruktion ist es nun möglich auch in vertikaler Richtung eine Abschusswinkelvariation von 0 bis 37 Grad zu ermöglichen. Dies war mit der alten Generation nicht möglich, da auf Grund des niedrigeren Arbeitsdruckes von nur 3bar die volle Leistung für einen akzeptablen Schuss abgerufen werden musste. Da das neue Modul aber mit einem Druck von 6bar operiert, ist die Breite der Einstellmöglichkeiten nur durch dynamisches Verstellen der Ventilschaltzeiten erheblich erweitert.

Zusätzlich erzeugen die *Fluidic Muscles* durch ihr optimales Kraft-Weg-Verhalten so gut wie keinen harten Endanschlag und auch der Mittelschusszylinder ist auf Grund seiner aktiven und passiven Endlagendämpfung kein erheblicher Störfaktor für die omnidirektionale Kamera.

Sogar der Umstand, dass der gerade Schuss, auf Grund der Höhe des Fahrwerks, aus einer vertikal außermittigen Position zum Ball stattfinden muss, bedeutet keinen erheblichen Nachteil, wie High Speed Aufnahmen mit dem fertigen Modul zeigen.

Ein weiterer großer Vorteil ist der Einsatz der Kupplung, mit der es nun möglich ist, zwischen geradem und hohem Schuss umzuschalten. So ist es im Vergleich zur alten Generation ohne großen Aufwand möglich, ein effizientes Passspiel mit harten Schüssen aufs Tor zu kombinieren.

Außerdem wird die ungünstige doppelte Berührung zwischen Klappe und Ball durch die Erhöhung des Arbeitsdrucks völlig beseitigt.

Letztendlich ist das Modul über die sechs Schraubverbindungen leicht von der Unterkonstruktion zu lösen, was eine unkomplizierte und schnelle Wartung im Turniereinsatz ermöglicht.

5.2 Vergleich der ermittelten Schussparabeln

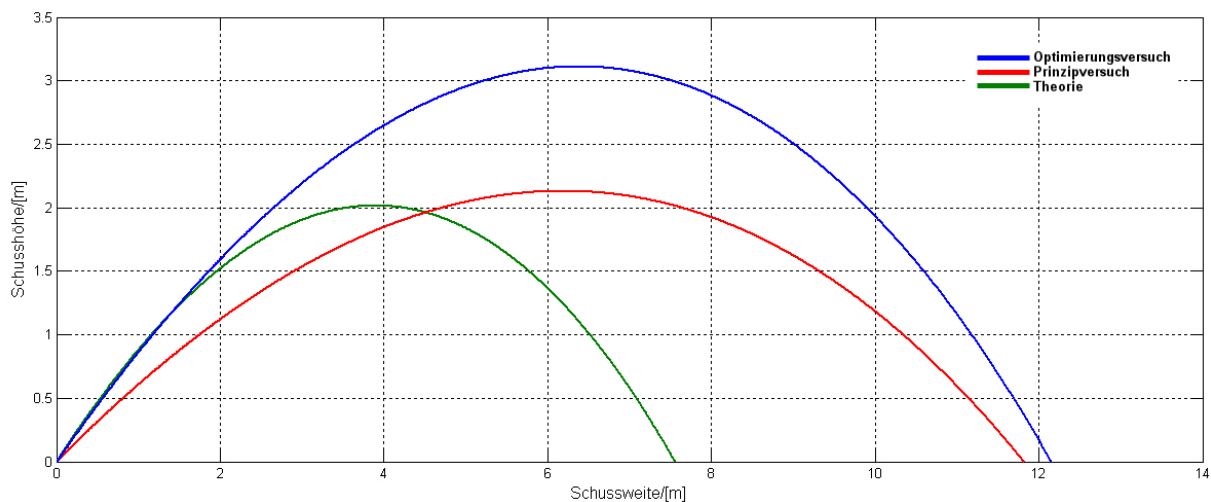


Abbildung 89: Ein Vergleich zwischen verschiedenen ermittelten Schussparabeln

Abbildung 89 vergleicht die jeweils optimalen Schussparabeln der theoretischen Berechnung, der praktischen Versuche am Prüfstand sowie den abschließenden Tests mit dem fertiggestellten Modul.

Dabei ist zu erkennen dass die Schussweite der endgültigen Modulkonstruktion die Schussversuche am Prüfstand übertrifft und diese wiederum besser ausfallen als mit Hilfe der theoretischen Grundlagen errechnet.

Dabei ist anzumerken, dass es sehr kompliziert ist die Eingangsgrößen der theoretischen Berechnung zu bestimmen. Die Stoßzahl kann mit dem, auf Seite 10 beschriebenen Fallversuch ermittelt werden. Der Abschusswinkel folgt aus der Parametervariation auf Seite 17, die Masse des Balles wird durch das Reglement vorgegeben und das Gewicht des stoßenden Elements erlangt man, durch Materialzuweisung, aus dem 3D Modell.

Die große Schwierigkeit liegt im Festlegen der Stößelgeschwindigkeit des Aktors. Berücksichtigt man bereits den Einsatz eines pneumatischen Zylinders kann man die Geschwindigkeit aus dem Datenblatt entnehmen. Hierbei handelt es sich allerdings um die mittlere Kolbenstangengeschwindigkeit. Da dieser Wert viel zu gering für den vorliegenden Anwendungsfall ist, wird die Anfangsgeschwindigkeit aus einer High-Speed-Kamera Aufnahme des ausfahrenden Zylinders ermittelt.

Mit diesen Werten und der Formel $e \cdot m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$ kann nun die Geschwindigkeit nach dem Stoß berechnet werden.

Es ist sehr leicht erkennbar, dass in dieser Gleichung nicht nur die Stoßzahl ungenau (weil nicht für den vorliegenden Fall) ermittelt ist, sondern auch die Aufprallgeschwindigkeit des Stößels nicht exakt ermittelt werden kann.

Der Umstand, dass die endgültige Ausführung die optimale Flugparabel erreicht liegt darin begründet, dass die Mechanik und Aktorik des Moduls bestmöglich auf den Anwendungsfall ausgelegt sind, wogegen der Prüfstandsaufbau möglichst vielen, verschiedenen Anordnungen gerecht werden sollte.

5.3 Gewichtsanalyse

Das Regelwerk des Robocup legt ein maximales Robotergesamtgewicht von 40kg fest. Dabei verfolgen viele Teams die Strategie, ein möglichst niedriges Gewicht zu erreichen, um eine maximale Beschleunigung des Roboters zu erzielen. Dies führt wiederum sehr oft zu filigranen Lösungen, die dem Turniereinsatz nicht gewachsen sind und somit einen großen Wartungsaufwand erzeugen.

Das Mostly Harmless RoboCup Team verfolgt eine andere Strategie. Da die verwendeten Motoren stark genug sind, um auch bei größerer Masse die gewünschte Beschleunigung zu realisieren, soll sich der Roboter möglichst nahe an der Gewichtsobergrenze orientieren. Basierend auf der eingeführten Modulstruktur⁶⁰ darf das Handlingmodul nicht mehr als 10kg wiegen.

Mit einem Gesamtgewicht von 9,6kg wird diese Vorgabe erreicht, wobei das Gesamtgewicht des neu konzipierten Handlingmoduls dabei um einiges höher als die Ballführungs- und Schusskomponenten der zweiten Generation liegt. Dieser Umstand begründet sich nicht nur durch den Einsatz vieler neuer Komponenten, wie der Kupplung, den beiden *Fluidic Muscles* oder der Sandwichkonstruktionsweise des Gehäuses, sondern zu einem sehr großen Teil auch durch die Forderung nach einem in sich geschlossenen Modul. Dadurch ist es nicht mehr möglich, die Steifigkeit der Robotergrundstruktur auszunutzen um zum einen die entstehenden Kräfte des Schussvorgangs aufzunehmen und zum anderen, das Modul transportfähig zu machen. Dem Nachteil des zusätzlichen Gewichts stehen also eine Vielzahl vorteilhafter, neuer Eigenschaften gegenüber und das Gesamtgewicht des Roboters liegt weiterhin unter der im Reglement vorgegebenen Obergrenze.

5.4 Kostenübersicht

Grundsätzlich ist es sehr schwer eine detaillierte Kostenaufstellung für den Prototypen des Handlingmoduls zusammenzustellen. Die Gründe liegen zum einen darin, dass viele der verbauten Komponenten durch die Unterstützung zahlreicher Sponsoren kostenfrei zur Verfügung gestellt wurden, zum anderen daran, dass viele der Dreh-, Fräs- und Biegeteile selbst gefertigt wurden und daher nur schwer bewertet werden können.

Um trotzdem eine möglichst realistische Darstellung der eingesetzten Mittel zu erhalten wurden Vergleichsangebote regionaler Fertigungsbetriebe eingeholt, um darauf basierend die Gesamtkosten eines Moduls zu bestimmen.

⁶⁰Vgl.[RATH, Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis , 2011]

Diese Kalkulation soll lediglich zeigen, welche Prozesse der Entwicklung das kostenwirksamsten sind.

Kostenübersicht Handlingmodul		
Kostenstelle	Kosten gesamt	Sponsoring
Rohmaterial	€ 250,-	€ 0,-
Fertigung	€ 4.580,-	€ 3.500,-
Zukaufteile	€ 1.550,-	€ 890,-
Sonstiges	€ 400,-	€ 400,-
GESAMTKOSTEN	€ 6.675,-	
- Wert Sponsoring		€ 4.790,-
= EINGESETZTE MITTEL	€ 1.885,-	

Tabelle 11: Costdriver des Handlingmoduls

Die Materialkosten beinhalten das Halbzeug für die Fertigung aller Teile, wobei aus Gründen der Gewichtsreduktion für lasergeschnittene und zu biegende Bauteile Aluminium der Serie AW5754 (Zugfestigkeit $190 \frac{N}{mm^2}$) und für Rundstangen Aluminium der Serie AW2007 (Zugfestigkeit $370 \frac{N}{mm^2}$) verwendet wird. Lediglich bei einigen, zu schweißenden, Komponenten wird auf herkömmliches Aluminium AW6060 zurückgegriffen.

Die Fertigungskosten sind sehr schwer zu kalkulieren, da sie zu einem großen Teil von Partnern des Mostly Harmless RoboCup Teams getragen wurden. Dies beinhaltet auch teure Fertigungsverfahren, wie etwa das Erodieren, die ohne das Wissen über vorhandene Partnerschaften zu einschlägigen Fertigungsbetrieben nicht zum Einsatz gekommen wären.

Zusätzlich wurden, wie Eingangs erwähnt, 58 Komponenten selbst gefertigt. Diese können somit nur durch einen Kostenschlüssel auf die Gesamtkosten aufgeschlagen werden.

Lediglich die Laserschneid- und Biegeteile sowie die Schweißarbeiten konnten auf Grund des engen Terminplans des Projekts nicht durch Partner abgedeckt werden.

Einfacher ist es bei den Zukaufteilen, da hier Verkaufspreise vorliegen und somit eine Kostenkalkulation kein Problem dargestellt. Gleiches gilt für die sonstigen Ausgaben, zu denen die verwendete Verbindungstechnik, Profilsysteme für Schweißhalterungen, Gleitklebebänder, Schraubensicherungen, Federn und Gleitlager zählen.

Gänzlich ausgenommen von dieser Kalkulation sind Arbeitsstunden der Entwicklung und Organisation des Projekts sowie Preisnachlässe auf Zukaufteile.

Es kann also ein Gesamtwert des Moduls von ungefähr € 6.700,- angenommen werden, wobei es durch intensive Partnerschaften mit unzähligen Unternehmen möglich war einen Großteil der Kosten durch Kooperationen einzusparen.

So können die effektiven Kosten des Moduls mit € 1.885,- beziffert werden.

Betrachtet man die Zusammensetzung der kalkulierten Kosten ist es leicht zu erkennen, dass der Anteil der Fertigungskosten der bestimmende Faktor ist und es daher unbedingt nötig ist, auch in Zukunft engen Kontakt zu allen Partnerunternehmen, die an der Durchführung dieses Projekts beteiligt waren, zu halten.

Abschließend sei noch erwähnt, dass sämtliche Bauteile, die fremdbezogen wurden und nur sehr

unwahrscheinlich im Rahmen von Weiterentwicklungen geändert werden müssen, bereits in doppelter Menge zur Verfügung stehen. Somit ist es ohne großen Aufwand möglich, ein weiteres Modul zu bauen, um die durch längerfristiges Betreiben des Prototypen festgestellten Verbesserungsmöglichkeiten durchzuführen.

5.5 Tests mit dem kompletten Modul

Abschließend sollen die Einzelfunktionen Ballannahme, Ballführung und Schuss getestet werden. Da es, auf Grund langfristiger Verzögerungen in der Entwicklung der elektronischen Fahrwerkskomponenten (Motorplatinen) kommt, werden diese Abläufe zwar mit dem gesamten Roboteraufbau, allerdings durch passive Fahrweise verifiziert werden. Von diesen Versuchen wird dann auf den Einsatz im realen Spielbetrieb geschlossen. Sobald eine geeignete Motosteuerung vorhanden ist, müssen diese Versuche, auch in Zusammenarbeit mit dem Modul für Softwareengineering, im Wettbewerbseinsatz verfeinert werden, um die Einstellungen der Mechanik (Federkonstanten der Ballführung beziehungsweise Verfahrenweg der Industriestoßdämpfer) weiter zu optimieren.

5.5.1 Ballannahme

Es wird an Hand des fertigen Roboters die Qualität der Ballannahme getestet um herauszufinden, wie sicher der Ball in der Führung zu liegen kommt.

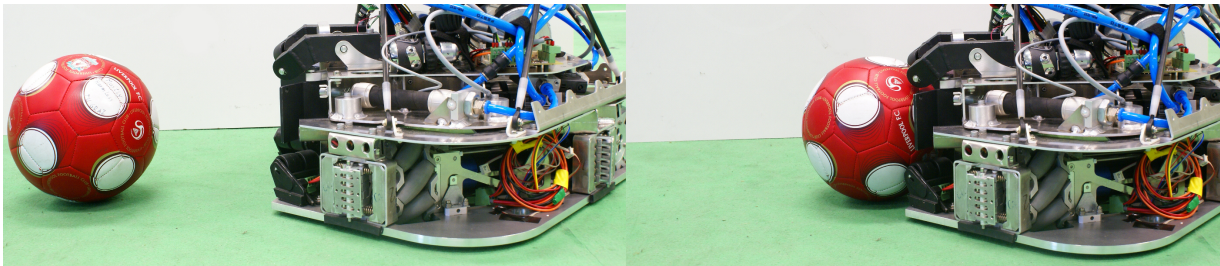


Abbildung 90: Die Ballannahme

Abbildung 90 zeigt, dass dies sehr gut funktioniert. Die Versuche werden beim stillstehenden Roboter durchgeführt, es zeigt sich jedoch, dass, bei höherer Aufprallgeschwindigkeit des Balles, die Ballannahme immer besser funktioniert. Dies liegt an den Industriestoßdämpfern der unteren Ballführung, die bereits in ihrer kleinsten Ausführung (die auch im Modul verbaut ist), bereits einen größeren Aufschlagimpuls benötigen als ihn der Ball bei niedrigen Geschwindigkeiten erzeugen kann.

Daraus kann aber geschlossen werden, dass es im Falle des bewegten Roboters zu einer Verbesserung des Ballannahmeprozesses kommt, da es in diesem Fall für den Industriestoßdämpfer gilt, die zusätzliche Geschwindigkeit des Roboters mitzukompensieren.

Des Weiteren zeigen die Versuche auch, dass der Ball nun in einem großen Winkelbereich schräg zur Schussachse auftreffen kann. Durch die vorteilhafte Auslegung der oberen Ballführungsarme wird der Ball, sollte er nur auf einem Arm auftreffen, von diesem so reflektiert, dass er auf den zweiten Arm trifft. Dieser wiederum erzeugt auf Grund seiner Geometrie eine Kraftkomponente in

die entgegengesetzte Richtung und durch die Energieabgabe des Balles bei jedem Kontakt mit der Ballführung kann so eine sichere Ballannahme gewährleistet werden.

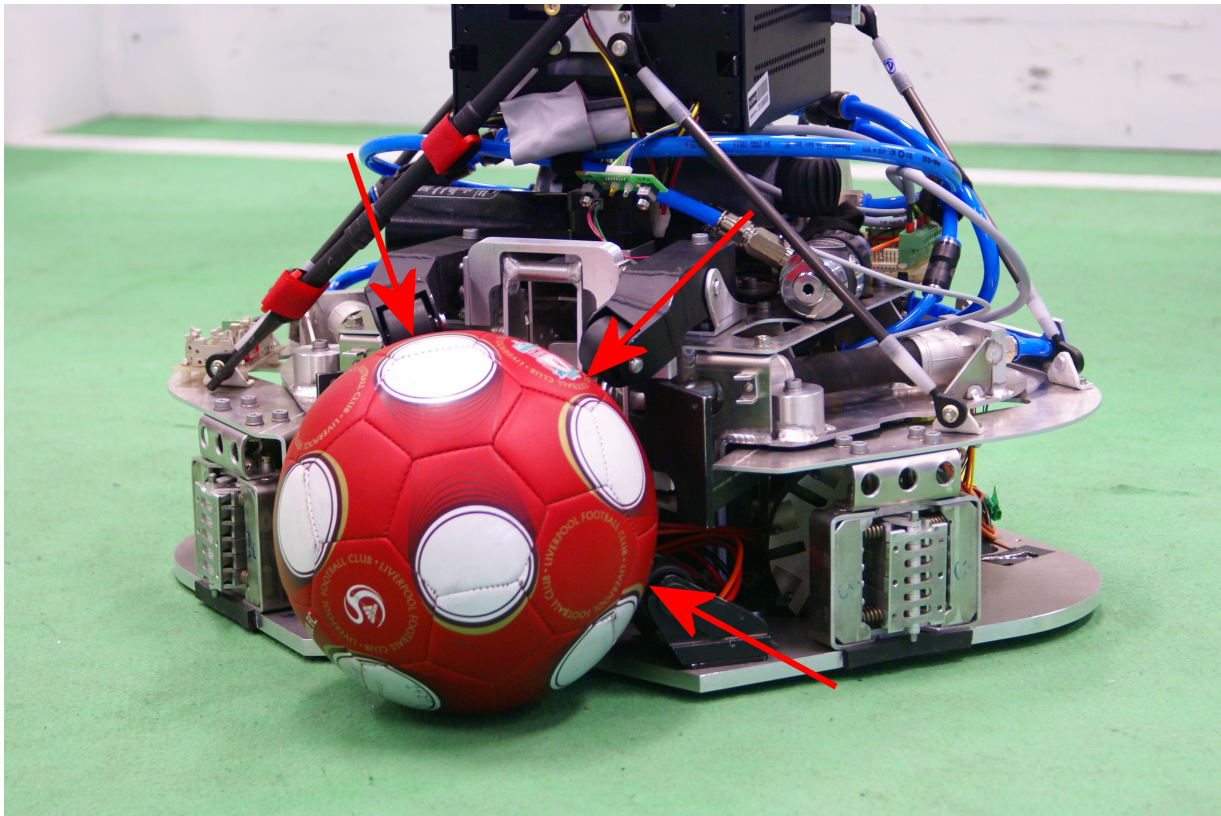


Abbildung 91: Die Kräfte auf den Ball

Abbildung 91 zeigt die Richtung der auf den Ball wirkenden Kräfte. Es lässt sich leicht erkennen, dass durch die Wirkrichtung zum Ballzentrum hin, eine große Bandbreite an Annahmewinkeln realisiert werden kann.

Abschließend sei angemerkt, dass dieses Verhalten noch im Bewerbseinsatz verifiziert werden muss und im Zusammenhang damit auch die optimalen Einstellungen der Ballführung vorgenommen werden müssen (siehe Kapitel 5.5).

5.5.2 Ballführung

Um die Ballführung zu testen wird der Roboter passiv über einen, bei internationalen Turnieren verwendeten, Rasenteppich geschoben. Dabei muss er dabei den Ball sicher führen.

Getestet wird sowohl das Verfahren entlang einer Geraden, als auch das Kurvenverhalten. Es muss allerdings angemerkt werden, dass das Verhalten der Ballführung im Falle einer Kurvenfahrt nur schwer mit passiven Tests zu verifizieren ist, da im realen Einsatz die Steuerung des Roboters so ausgelegt ist, dass bei einer Richtungsänderung der Ballmittelpunkt als Drehpunkt verwendet wird und der Roboter nicht nur eine einfache Drehbewegung vollzieht, sondern gleichzeitig um den Ballmittelpunkt rotiert und somit den Ball wesentlich besser führen kann.

Des Weiteren spielt auch für die Ballführung eine genaue Einstellung der Ballführungsfedern sowie der Industriestoßdämpferhublängen eine wesentliche Rolle. Da dies aber erst im Rahmen einer realen Testumgebung detailliert erreicht werden kann, gelten die durchgeführten passiven

Versuche als ausreichend.

5.5.3 Schussvorgang

Der Schussvorgang wurde in den Kapiteln 2 und 3 bereits ausführlich beschrieben und erfüllt alle geforderten Randbedingungen. Der Schuss ist präzise sowie reproduzierbar und es kann eine Weite von über 11m und eine Höhe von drei Metern erreicht werden, ohne die Orientierung des Roboters zu beeinträchtigen.

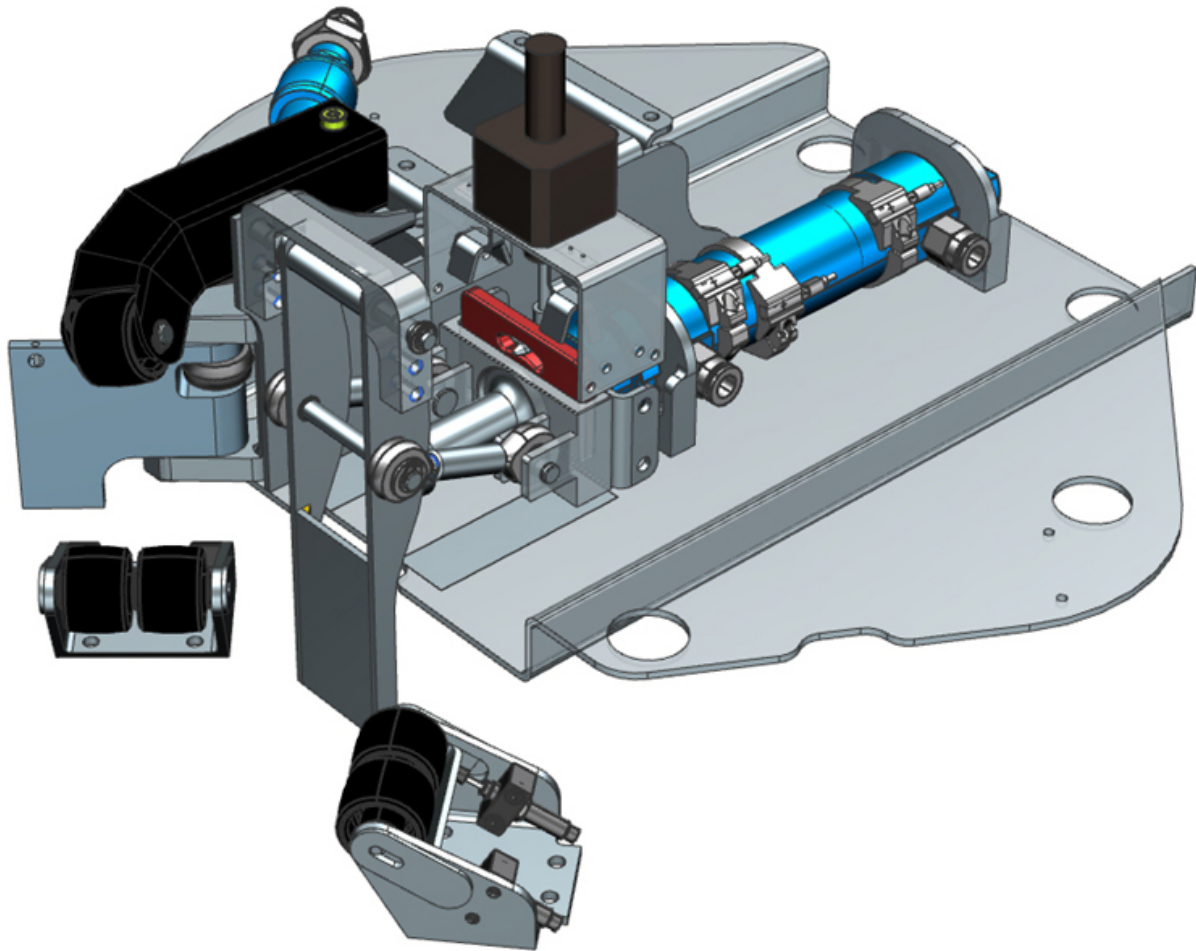


Abbildung 92: Die Aktorik des Handlingmoduls⁶¹

⁶¹[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011, Folie 10

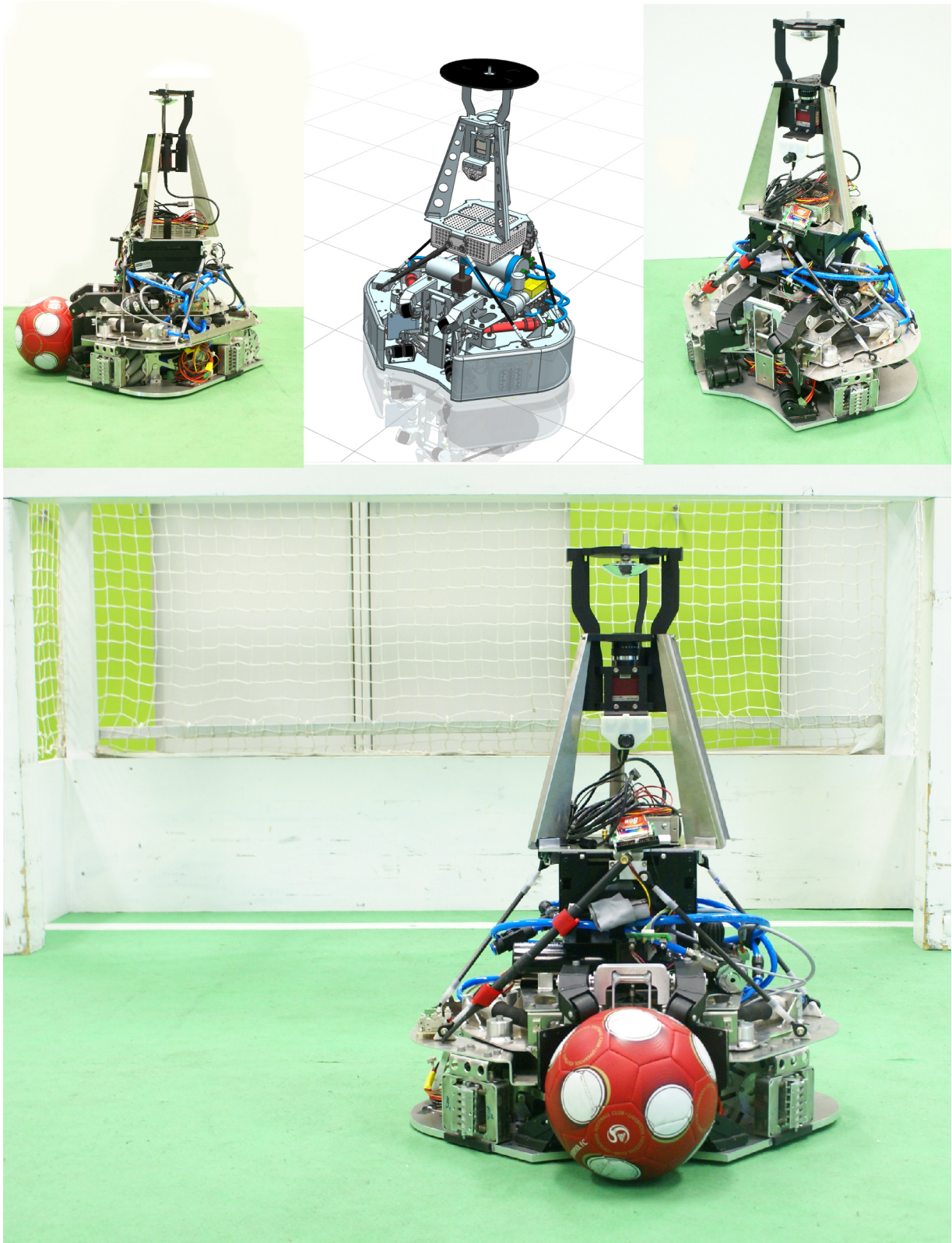


Abbildung 93: Der Prototyp der 3. Generation Krikkit Roboter

6 Fazit

6.1 Hebel für Verbesserungen

Da das im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelte Handlingmodul momentan das Stadium des Prototypen erreicht hat, gilt es, noch einige Dinge genauer zu betrachten beziehungsweise zu verbessern. Vor allem geht es dabei um Anpassungen der mechanischen Einstellungen an den Spielbetrieb. Zum Einen muss eine optimale Anpresskraft zwischen Ballführungsarmen und Ball ermittelt werden, um in möglichst vielen Spielsituationen eine optimale Ballkontrolle zu haben und den Ball vor allem auch bei Kollisionen sicher weiterführen zu können, gleichzeitig aber keine zu großen Reibungseinflüsse während des Schussvorgangs zu erzeugen.

Zusätzlich ist die Ansteuerung der Ventile mit Hilfe der Software des Mikrocontrollers gelöst und kann somit leicht angepasst werden. Es gilt die Schaltzeiten so einzustellen, dass auf der einen Seite genug Geschwindigkeit für den definierten Schuss zur Verfügung steht, auf der anderen Seite die Ventile nicht zu lange geöffnet bleiben, um nicht einen zu hohen Luftverbrauch zu erzeugen. Für den Hauptschusszylinder ist dieser optimale Wert bereits ermittelt, die Hauptaufgabe liegt hier im Konfigurieren der *Fluidic Muscles*, da hier die erzeugte Kraft sehr stark von der Lage in der Ballführung (und damit deren Einstellung) abhängt und es daher besser sein könnte, eine längere Schaltzeit in Kauf zu nehmen, um den Schuss sicher durchführen zu können.

Zuletzt ist auch die mechanische Konzeption der Kupplungsbaugruppe im Rahmen des regulären Spielbetriebs zu testen. Der Aufbau hat sich bei einzelnen Versuchen zwar als robust und ausfallssicher erwiesen, es ist aber anzunehmen, dass bei häufiger Kollision mit anderen Robotern, trotz der im Fahrwerk verbauten Schockabsorber⁶², große Kräfte und vor allem Vibrationen auf das Modul wirken werden. Es gilt also herauszufinden ob die Kupplungsfunktion auch bei diesen Einflüssen über einen längeren Zeitraum sicher funktioniert. Abschließend wäre der Einsatz eines Linearmotors als Kupplungsaktor zu überlegen, da dieser einige vielversprechende Vorteile gegenüber dem linearen Schrittmotor aufweist (Siehe Kapitel 4.5, Seite 75). Diese Maßnahme hängt allerdings sehr stark von der aktuellen finanziellen Situation des Teams ab, da diese Lösung auf Grund der sehr anspruchsvollen Steuerung teuer ist.

6.2 Weitere Schritte

Abschließend seien an dieser Stelle noch die weiteren Schritte im Rahmen der Weiterentwicklung des vorliegenden Handlingmoduls dargestellt. Manche dieser Projekte befinden sich bereits in Planung, andere können erst durchgeführt werden, wenn ein Prototyp verfügbar ist, der nicht nur mechanisch sondern auch elektronisch und regelungstechnisch einwandfrei funktioniert.

Kapazitive Näherungssensoren

Das Projekt der kapazitiven Näherungssensoren sollte eigentlich schon im Rahmen der alten Robotergeneration durchgeführt werden, dort verhinderte allerdings die unvorteilhafte Konstruktion der Ballführung den Einsatz. Im Rahmen der Neuentwicklung wurde deshalb bereits an die

⁶²vgl.[RATH, Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis , 2011

Verwendung dieses Sensorkonzepts gedacht und die Materialstärke der Pinball-Arme an den benötigten Bauraum der Näherungssensoren angepasst.

Die kapazitiven Näherungssensoren detektieren berührungslos den Abstand leitender sowie nichtleitender Gegenstände auf kurzen Distanzen und sind daher sehr gut geeignet um eine genaue Erkennung des Balles in der Ballführung zu ermöglichen. Dies wäre eine große Verbesserung des aktuellen Konzepts, da der Ball sehr nah an der Grundstruktur liegt wenn er sich in der Führung befindet und daher nur schlecht von der omnidirektionalen Kamera des Roboters erkannt werden kann. Der Einsatz kapazitiver Näherungssensoren wäre also nicht nur von Vorteil um den Roboter besser auf den Ball auszurichten, sie würden indirekt auch die Zeit verkürzen, die man für die Annahme eines Schusses benötigt.

Modifikationen der Schussprogrammierung

Ein weiteres Projekt von hoher Wichtigkeit wäre die Integration der neu geschaffenen Freiheitsgrade der Schussaktik in das Softwareframework. So wäre es von großem Vorteil, wenn die Möglichkeit geschaffen würde, die geometrische Auslegung des Kickmechanismus so in die Programmierung einzugliedern, dass über eine dynamische Einstellung der Ventilschaltzeiten nicht nur eine eindeutige Schusskurve, sondern auch eine optimale aktive Endlagendämpfung des Hauptschusszylinders erzeugt werden kann.

Zusätzlich wäre es möglich, wie bereits in Kapitel 4.7 beschrieben, die Möglichkeit eines spin-behafteten Schusses auszunutzen. Dieser kann durch eine situationsbedingte Ansteuerung der *Fluidic Muscle* Ventile erfolgen, setzt allerdings eine ausführliche Versuchsreihe, zum genauen Einstellen auf verschiedene Spielsituationen, voraus.

So könnte situationsbedingt ein optimaler Schuss abgegeben und gleichzeitig die energieeffizienteste Ausnutzung der Aktoren gewährleistet werden.

Weiterentwicklung des Prototypen

Abschließend muss das Hauptziel natürlich sein, in möglichst kurzer Zeit weitere Roboter zu fertigen, um mit einer einheitlichen Mannschaft aus baugleichen Exemplaren mit identen Funktionen arbeiten zu können. Dies erleichtert nicht nur die Wartung, sondern auch die Programmierung, da nicht mehr funktionsbedingt zwischen einzelnen Robotern unterschieden werden muss, wie es jetzt, so der neue Roboter zusammen mit der zweiten Generation zum Einsatz kommt, der Fall ist. Es soll dabei so vorgegangen werden, dass die im Rahmen der Prototypenentwicklung bereits mitgefertigten Teile für ein zweites Prototypenexemplar genutzt werden um im Dauerbetrieb auftretende Probleme des aktuell vorliegenden Exemplars zu verbessern. Ist dies geschehen, können vier weitere, baugleiche, Module für die Komplettierung einer, laut Reglement auf sechs Spieler begrenzten Mannschaft, hergestellt werden.

Dieser zweite Prototyp sollte außerdem die zusätzlichen Randbedingungen eines Tormanns erfüllen. Das bedeutet, er muss nicht nur eine zusätzliche mechanische Komponente zur Abwehr des Balles (das so genannte *Goalie Frame*) besitzen, sondern auch die Auslegung der Ballführung und der Berührfläche der Schussaktoren zum Ball verändert werden, um dem Abwehrverhalten des Roboters eine größere Gewichtung zu verleihen.

Ein großer Vorteil der Umkonstruktion des zweiten Prototypen zum Tormann ist, dass es dann rasch möglich wäre mit diesen beiden Robotern an Messen und öffentlichen Auftritten teilzunehmen (das Ausstellungs- und Messesetup des Mostly Harmless Teams umfasst genau einen Feldspieler und einen Tormann, um bestmöglich die Interaktion zwischen autonomen Robotern vorführen zu können). Dadurch wäre es möglich, die neuentwickelte Generation fußballspielender Roboter auf schnellem Wege einem großen Publikum vorzustellen.

Literaturverzeichnis

[ACE, Katalog, 2011]

ACE STOSSDÄMPFER GMBH: Hauptkatalog, Langenfeld, 2011

[BERGER, Das Gesetz des Kraftverlaufs beim Stoß, 1924]

BERGER F.: Das Gesetz des Kraftverlaufs beim Stoß, Friedr. Vieweg und Sohn Akt.-Ges., Braunschweig, 1924

[BUCHROITHNER, Systematische Analyse von Hybridfahrzeugen mit Schwungradspeicher unter Erfassung von Entwicklungstendenzen, 2011]

BUCHROITHNER A.: Systematische Analyse von Hybridfahrzeugen mit Schwungradspeicher unter Erfassung von Entwicklungstendenzen, Diplomarbeit am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik, in Arbeit, Graz

[CAMBADA, Mechanical Description Paper 2010]

CAMBADA TEAM MEMBERS: Mechanical Description Paper, Transverse Activity on Intelligent Robotics, University of Aveiro,2010

[CAMBADA, Team Description Paper 2010]

CAMBADA TEAM MEMBERS: Mechanical Description Paper, Transverse Activity on Intelligent Robotics, University of Aveiro,2010

[CHRISTEN: Praxiswissen der chemischen Verfahrenstechnik,2004]

CHRISTEN D.: Praxiswissen der chemischen Verfahrenstechnik, Springer BerlinHeidelbergNewYork, Berlin, 2005

[DUBBEL, 2007]

JARECKI, U., SCHULZ, H.-J. (Hrsg.): Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22., neu bearb. u. erw. Aufl., 2007, Springer Verlag, Berlin, 2007

[ELRA, Datenblatt DC Motor]

ELRA ANTRIEBSTECHNIK GESMBH: Katalog für Gleichstrommotoren, Wien, 2010

[FAULHABER, Datenblatt Linearmotor]

DR. FRITZ FAULHABER GMBH und CO.KG: Lineare DC Servomotoren mit analogen Hall Sensoren - Quickshaft Technologie, Schönaich, 2011

[FESTO CACOS - Computer Aided Cylinder Optimisation System Berechnung, 2010]

FESTO AG ÖSTERREICH: Berechnungen der Modulsaktorik mit CACOS - Computer Aided Cylinder Optimisation System, Versuchsdurchführung zur Unterstützung der vorliegenden Arbeit, 2010

[FESTO, Humanoider Muskelroboter]

FESTO INFO: Humanoider Muskelroboter - Ein Roboter mit Fluidic Muscle als Aktuator!, Denkendorf, 2006

[FESTO Produktdokumentation DMSP/MAS 2009/11]

FESTO DIDACTIC: Produktdokumentation Fluidic Muscle DMSP/MAS 2009/11, 2009

[HABERFELLNER, Projektmanagement, 2002]

HABERFELLNER R., NAGEL P., BECKER M., BÜCHEL A., VON MASSOW H.: Systems Engineering Methodik und Praxis, Verlag Industrielle Organisation Zürich 11. Auflage, 2002

[HAUGER, Technische Mechanik 3, 2002]

HAUGER W., Schnell W., Gross D.: Technische Mechanik 3 - Kinetik, 7.Auflage, Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 2002

[HOOGENDIJK, Design of a Ball Handling Mechanism for RoboCup 2007]

HOOGENDIJK R.: Design of a Ball Handling Mechanism for RoboCup, Control Systems Technology Group, Department of Mechanical Engineering, Technische Universität Eindhoven, 2007

[INTERNET, FIFA Ballrichtlinien]

<http://www.de.fifa.com/aboutfifa/developing/pitchequipment/football/testcriteria.html>, Fédération Internationale de Football Association (FIFA), Abfrage: 29.4.2011

[INTERNET, Flywheel]

<http://www.vyconenergy.com/pages/flywheeltech.htm>, Vycon Energy Yorba Linda ,Abfrage: 27.05.2011

[INTERNET, Haydon Kerk linearer Schrittmotor]

<http://www.haydonkerk.com/LinearActuatorProducts/StepperMotorLinearActuators/LinearActuatorsHybrid/> Haydon kerk Motion Solution - An Ametek Company, Abfrage: 27.05.2011

[INTERNET, Ligen des Robocup, 2011]

http://wiki.robocup.org/wiki/Main_Page, RoboCup Federation, Abfrage: 27.05.2011

[INTERNET, MostlyHarmless, 2011]

<http://www.robocup.tugraz.at>, Mostly Harmless RoboCup Team der Technischen Universität Graz, Abfrage: 27.05.2011

[INTERNET, Robocup Logo, 2011]

<http://www.robocup.org/contact/guideline-of-robocup-logo>, RoboCup Federation, Abfrage: 27.05.2011

[INTERNET TREMBA GMBH, 1999]

<http://www.tremba.de/hubmagnete/hubmagnete.php>, TREMBA GMBH, Hallbergmoos-Goldach,
Abfrage: 27.05.2011

[INTERVIEW, Nagelreiter, FESTO Österreich AG, Oktober 2010]

INTERVIEW: Nagelreiter F., Leiter Lystemtechnik FESTO Österreich AG, Wien, 12.10.2010

[JÜRGENS, Scriptum Maschinenelemente, 2011]

JÜRGENS G., o.Uni.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.: Scriptum Maschinenelemente, Kapitel 10 - Federn, Graz, 2010

[KOLLAR, The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, 2011]

KOLLAR M.: The Application of pneumatic actuators in RoboCups Middle Size League, Presentation for the Austrian Robotics Workshop 23./24.05.2011, Hall/Tirol

[LUEGINGER: Neuentwicklung eines Small-Size League Roboters, 2010]

LUEGINGER C.: Neuentwicklung eines Small-Size League Roboters, Diplomarbeit am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik TU Graz, Graz, 2010

[MOSTLY HARMLESS ROBOCUP TEAM, Der Fallversuch, 2008]

MAGNET T. u.a.: High Speed Kamera Aufnahmen von Schussvorgängen, Graz, 27.06.2008

[PARKUS, Mechanik der festen Körper, 2005]

PARKUS H.: Mechanik der festen Körper, 2. Auflage, 6. unveränderter Nachdruck, SpringerWienNewYork, Wien, 2005

[ROBOCUP, Rules and Regulations, 2011]

ROBOCUP TECHNICAL COMITEE: Middle Size Robot League Rules and Regulations for 2011, Version - 15.0 20101207, 31.Dezember 2010

[RATH, Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis , 2011]

RATH N.: Entwicklung einer mobilen Roboterplattform auf modularer Basis, Diplomarbeit am Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik, TU Graz, Graz ,2011

[SAUR, Entwicklung eines elektromagnetischen Schussmechanismus für autonome mobile Fußballroboter, 2008]

SAUR D.: Entwicklung eines elektromagnetischen Schussmechanismus für autonome mobile Fußballroboter, Fachgebiet Verteilte Systeme, Universität Kassel, 2008

[SIDIROPULOS, Fortschritt Berichte VDI, 1990]

SIDIROPULOS G., Beitrag zur Beschreibung der Energieübertragung stoßender stabförmiger Körper mit Hilfe eines Diskretisierungs-Modells, Fortschritt Berichte VDI Reihe 11 - Schwingungstechnik, VDI Verlag GmbH, Berlin, 1990

[TANG, LIU, FANG, Superconducting Energy Storage Flywheel, 2010]

TANG J., LIU G., FANG J., Superconducting Energy Storage Flywheel - An Attractive Technology for Energy Storage, school of Instrumentation and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiaotong University and Springer Verlag Berlin Heidelberg, Shanghai, 2010

[TILBURGS, Design and realization of a solenoid for a RoboCup kicking device 2006]

TILBURGS R.: Design and realization of a solenoid for a RoboCup kicking device, Control Systems Technology Group, Department of Mechanical Engineering, Technische Universität Eindhoven, 2006

[VAN GOCH, Optimizing a solenoid for a RoboCup kicker, 2006]

VAN GOCH B.P.T.: Optimizing a solenoid for a RoboCup kicker, Design of a Ball Handling Mechanism for RoboCup

[ZANDERSTEEG, Design of a RoboCup Shooting Mechanism 2005]

ZANDERSTEEG C.J.: Design of a RoboCup Shooting Mechanism, Verfasst am Institut für Dynamics and Control Technology, Eindhoven University of Technology, 2005

Abbildungsverzeichnis

1	Die RoboCup Weltmeisterschaften im Überblick	1
2	Das Logo der RoboCup Federation	2
3	Das Logo des Mostly Harmless RoboCup Teams	3
4	Der Zeitplan der Diplomarbeit	6
5	Kraftverlauf beim Stoß	8
6	Der Ball als Feder Masse System	9
7	Der Fallversuch	10
8	Auszug aus Tabelle zur Biegeschwingung	11
9	Beschleunigung und FFT des Stoßvorgangs mit Gummispitze	12
10	Beschleunigung und FFT des Stoßvorgangs mit ebener Platte	13
11	Der maximal erlaubte Schuss	15
12	High Speed Aufnahmen mit der 2. Krikkit Generation	16
13	Vergleich der Schussparabeln unter Berücksichtigung des Luftwiderstands	16
14	Variation des Winkels bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 10m/s	17
15	Variation der Anfangsgeschwindigkeit bei einem Abschswinkel von 45°	18
16	Darstellung verschiedener Parameterkombinationen	18
17	Die Geometrie des Pendels	20
18	Die Geometrie des Parallelogramms	21
19	Die Geometrie der Scherenanordnung	22
20	Die Geometrie der vollvariablen Anordnung	22
21	Vergleich der möglichen Kraftübersetzungen	23
22	Vergleich der möglichen Geschwindigkeiten	24
23	Betriebszustände des mechanischen Mechanismus	27
24	Funktion eines Flywheels	28
25	Getriebeaufbau mit Flywheel	29
26	Betriebszustände der Spule	30
27	Humanoider Muskelroboter der Firma FESTO	32
28	Kraft-Weg-Kennlinie des Fluidic Muscles	33
29	Aktoren Weg-Zeit-Diagramm	34
30	Die geometrische Auslegung zweier Aktoren	36
31	Die Kräfte bei Betätigung der Pinball-Arme	37
32	Gegenüberstellung der Geometrie beim geraden und hohen Schuss	38
33	Modulaspekte	39
34	Mostly Harmless Krikkit 2G	40
35	Ablauf des aktuellen Schussvorgangs	42
36	Roboter des Tech-United Teams	43
37	Roboter des Carpe Noctem Teams	44
38	Roboter des Cambada Teams	44
39	Aufbau des Kickprüfstands	46

40	Versuchsstruktur des Kickprüfstands	47
41	High Speed Aufnahmen mit Spitze	48
42	High Speed Aufnahmen mit ebener Fläche	49
43	High Speed Aufnahmen mit altem Pendel	50
44	High Speed Aufnahmen mit geführtem Pendel	50
45	Lage des Balls zum Schusselement	51
46	Kickversuch Anfangsposition	51
47	Kickversuch Mittelposition	52
48	Kickversuch Endposition	53
49	Auswertung der Beschleunigung der Versuchsreihe 1.5-M6	54
50	Auswertung der Beschleunigung der Versuchsreihe 1.7-E6	54
51	Das Stoßelement des Handlingmoduls	55
52	Screenshot der Labview Anwendung	56
53	Der Zwischentank	57
54	Der Muskelprüfstand	58
55	Muskelbewegung bei 4bar	58
56	Vergleich des Hubs bei 200ms Ventilschaltzeit und verschiedenen Arbeitsdrücken	59
57	Der Prüfstand für die Schussversuche	61
58	Erreichbarer Winkel der Pendelgeometrien bei 6bar	62
59	Erreichbare Anfangsgeschwindigkeit der verschiedenen Pendelgeometrien bei 6bar	62
60	Die optimale Flugkurve für den hohen Schuss	63
61	Der Workspace	64
62	Die horizontale Exzentrizität des Schussaktors	65
63	Die Exzentrizität der vertikalen Schussachse	65
64	Der Workspace des Handlingmoduls	66
65	Das Ballhandlingmodul und die Modulbaugruppen	68
66	Das Gehäuse	69
67	Die aktuelle Ballführung	70
68	Die Details der Druckfeder	71
69	Die Gaszugfeder	71
70	Details des Industriestoßdämpfers	72
71	Konstruktion der oberen Ballführung mittels Gasdruckfeder	73
72	Die obere Ballführung	74
73	Die untere Ballführung	75
74	Details des DC Motors	76
75	Details des Hubmagneten	76
76	Details des Linearmotors	77
77	Details des linearen Schrittmotors	77
78	Konzept des Universalkickelements	78
79	Konzept eines Hubmagneten mit Schnappschlosstechnologie	79
80	Details des Kupplungsvorgangs	80

81	Konzept eines Schiebeelements	81
82	Prüfstands Aufbau des linearen Schrittmotors	82
83	Druckluftflasche mit Regelventil und Adapter	83
84	Seitenschusseinheit mit Seitenaktor	85
85	Die Anordnung der Aktoren im Gehäuse	85
86	Das Layout der Kickerplatine	86
87	Die Sensoranordnung am Zylinder	87
88	Vergleich der Krikkit Generationen	88
89	Ein Vergleich zwischen verschiedenen ermittelten Schussparabeln	89
90	Die Ballannahme	92
91	Die Kräfte auf den Ball	93
92	Die Aktorik des Handlingmoduls	94
93	Der Prototyp der 3. Generation Krikkit Roboter	95

Tabellenverzeichnis

1	Randbedingungen der RoboCup Middle-Size-League	5
2	Einflüsse auf den optimalen Schussvorgang	14
3	Vergleich der kinematischen Ketten	24
4	Vergleich der Aktorgrundprinzipien	35
5	Leistungstest der Druckflasche	57
6	Ergebnisse der Flugkurve der verschiedenen Pendel	63
7	Vergleich der Dämpfungsaktoren	72
8	Vergleich der Ballführungskonzepte	75
9	Vergleich der Kupplungsaktoren	77
10	Vergleich der Kupplungskonzepte	82
11	Costdriver des Handlingmoduls	91

Anhang

Sponsoren	A -2
Schaltpläne	A -3
Der Pneumatikschaltplan	A -3
Script Dateien	A -4
Berechnungsscript für Flugkurven und Kräfte	A -4
Berechnung der Jacobion Matrix	A -8
Newton Verfahren	A -9
Vergleichsscript für verschiedene Übersetzungen	A -12
Übersetzung des Parallelogramms	A -13
Übersetzung der Scherenanordnung	A -15
Übersetzung des Pendels	A -17
Vergleichsscript für Anfangsgeschwindigkeiten	A -18
Übersetzung der Parallelogrammgeschwindigkeit	A -19
Übersetzung der Scherengeometrie	A -20
Übersetzung des Pendels	A -21
Kontrolle des Klemmwinkels	A -22
Berechnung der Biegeschwingungen des Prüfstands aufbaus	A -23
Datenblätter	A -24
Material Laser/Biegeteile	A -24
Material Rundstangen	A -25
Rundzylinder	A -26
Pneumatischer Muskel	A -28
Magnetventil CPE14M1BH	A -29
Magnetventil CPE18M1H	A -30
Näherungsschalter SMT-8M	A -31
Steckdosenleitung KMYZ	A -32
Steckdosenleitung KMEB	A -33
Verwendetes Tauchequipment	A -34
Linearer kaptiver Hybridschrittmotor	A -35
Miniaturindustriestoßdämpfer	A -36
Gleitklebeband UHMW-Polyethylen-Gleitklebebänder5423	A -37
Zeichnungen	A -38
Schweißhalterung Ballführung oben	A -38
Schweißzeichnung Gehäuse 1	A -39
Schweißzeichnung Gehäuse 2	A -40
Prüfstandsauswertung	A -41
Wissenschaftliche Veröffentlichungen	A -46
Extended Abstract Austrian Robotics Workshop Hall/Tirol 23.05.2011	A -46
Pressepiegel	A -49

Sponsoren

Sponsorendanksagung

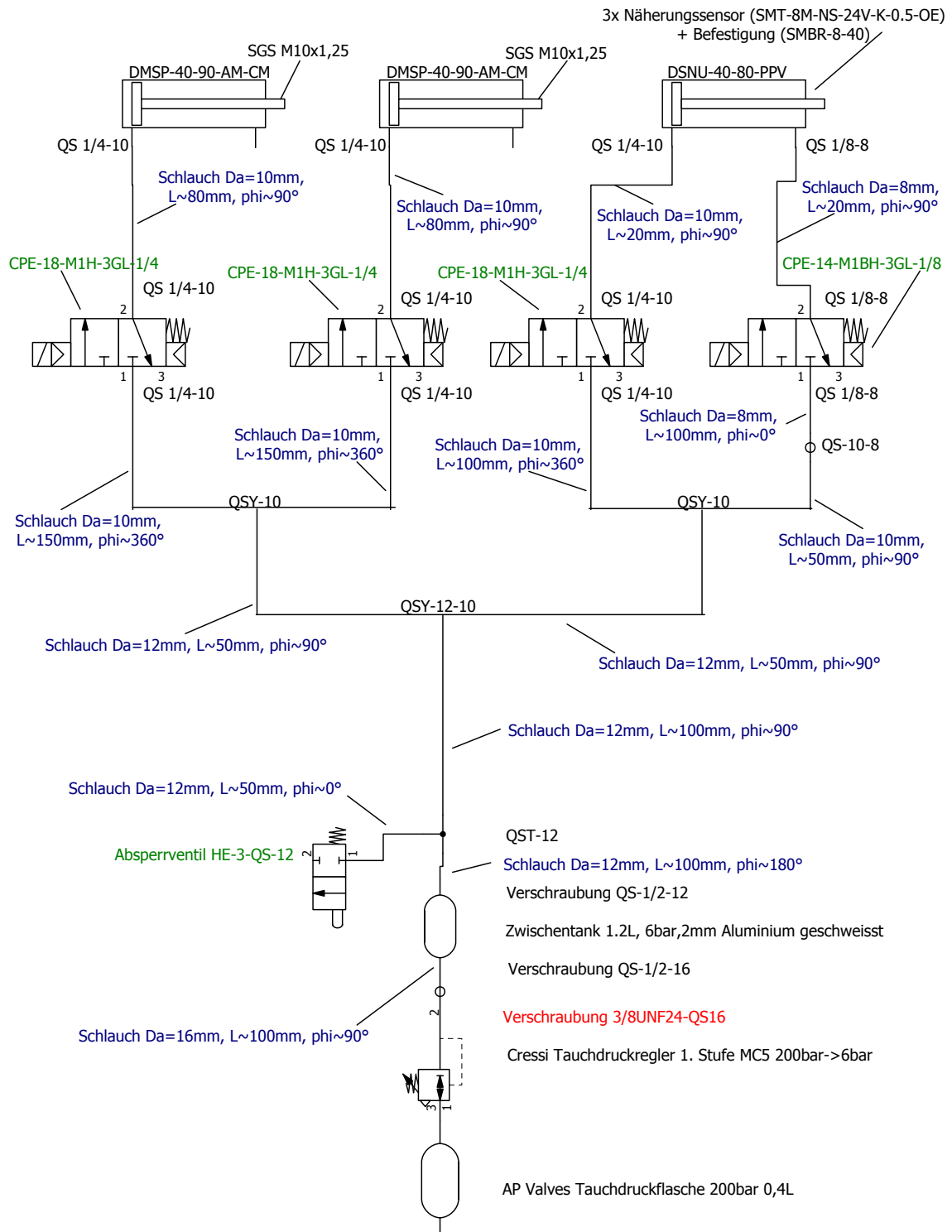
Abschließend möchte ich mich bei allen Sponsoren bedanken, die das in dieser Diplomarbeit beschriebene Projekt und einige andere großartige Errungenschaften des Mostly Harmless Teams im letzten Jahr mit großem Einsatz, sei es durch Geldspenden, Teilesponsoring oder Beratungen und Hilfestellungen ermöglicht haben.



Schaltpläne

Der Pneumatikschaltplan

Pneumatik Schaltplan Robocup TU Graz Krikkit 3G



Script Dateien

Berechnungsscript für Flugkurven und Kräfte

```
1  clc
2  clear
3
4  %Simulation der Kraft auf den Ball und durch Form und Kraft erzeugten
5  %Flugbahn
6
7  %Eingabe der Randbedingungen:
8
9  %Radius des Balles:
10 r=0.11; %Einheit:m
11
12 %Erste Länge des Kickers:
13 l1=0.18; %Einheit:m
14
15 %Zweite Länge des Kickers:
16 l2=0.00; %Einheit:m
17
18 %Moment das auf Kicker von Aktorseite wirkt:
19 M1=500; %Einheit: N
20
21 %Winkel des ersten Hebels des Kickers zur Horizontalen: (=ABSCHUSSWINKEL)
22 phi1=30*pi/180; %Einheit; rad
23
24 %Winkel des zweiten Hebels des Kickers zur Horizontalen;
25 phi2=180*pi/180; %Einheit; rad
26
27 %Querschnittsfläche Ball;
28 A=r^2*pi; %Einheit; m^2
29
30 %Masse des Balls;
31 m_Ball=0.43; %Einheit;kg
32
33 %Dichte der Luft;
34 rho_luft=1.2; %Einheit kg/m^3
35
36 %Cw Wert Ball in der Luft;
37 cw=0.45; %Einheitenlos
38
39 %Masse des Kickers;
40 m_Kicker=2; %Einheit;kg
41
42 %Geschwindigkeit des Kickers:
43 v_Kicker=8; %Einheit:m/s
44
45 %Erdbeschleunigung:
46 g=9,81; %Einheit:m/s
```

```
47
48 %Wirkungsgrad Impulsübertragung
49 alpha=0.5;
50
51 %Berührzeit Kicker zu Ball:
52 t_Ball=0.006; %Einheit:s
53
54 %Reibkoeffizient Ball/Boden
55 my=0.1;
56
57 %Stosszahl
58 e=0.85;
59
60 %GEOMETRISCHE BERECHNUNGEN:
61     phi3h=pi-phi2
62         lh5=l1*cos(phi3h);
63         lh4=l2+lh5;
64         phi_4=phi1-phi3h
65         phi_3=90*pi/180-phi_4;
66
67 %KRAFTERMITTLUNG
68 %F_res=M1/lh4
69
70
71 %Variante 1 mittels Impulssatz (derzeit inaktiv):
72 %v_Ball=alpha*m_Kicker*v_Kicker/m_Ball;
73
74 %MÖGLICHKEIT v_Ball, Abschusswinkel direkt anzugeben vorzugeben:
75 v_Ball=11.8;
76 phi_3=42.7*pi/180;
77
78 %BERECHNUNG FLUGBAHN BALL AUFGRUND KRAFT
79
80 %a_Ball=F_res/m_Ball;
81 %v_Ball=a_Ball*t_Ball;
82 v_x=v_Ball*cos(phi_3)
83 v_y=v_Ball*sin(phi_3)
84
85
86
87
88 %BERECHNUNG FLUGBAHN: HIER NICHTS EDITIEREN – WERTE STIMMEN SO!
89
90 i=1;
91 x(1)=0;
92 y(1)=0;
93 k=0.5*cw*rho_luft*A/m_Ball;
94 t=0.001; %Klein genug wählen um Diskretisierungsfehler minimal zu halten
95
96 if v_y<=0.0001
97     a_gl=g*my
```

```
98 a_ro=5*g*my/2
99 x(1)=0;
100 i=1;
101 v_x(1)=v_x;
102 for z=0:t:1000
103     dx=v_x(i)*t-(a_gl+a_ro)*t^2/2;
104     x(i+1)=x(i)+dx
105     dv_x=(a_gl+a_ro)*t
106     v_x(i+1)=v_x(i)-dv_x
107
108
109 i=i+1;
110
111 if v_x(i) ≤ 0
112     plot(x, v_x)
113     break
114 end
115 end
116 else
117 for z=0:t:5
118
119     v_gesamt=(v_x^2+v_y^2)^(1/2);
120
121     a_x=0-k*v_gesamt^2*(v_x/v_gesamt);
122     vx_neu=v_x+a_x*t;
123
124     a_y=-g-k*v_gesamt^2*(v_y/v_gesamt);
125     vy_neu=v_y+a_y*t;
126
127     dx=vx_neu*t;
128     x(i+1)=x(i)+dx;
129
130     dy=vy_neu*t;
131     y(i+1)=y(i)+dy;
132
133
134     %reset für nächste Schleife
135     v_x=vx_neu;
136     v_y=vy_neu;
137     i=i+1;
138
139
140     %Abbruchbedingung für y<0!
141     if y(i) < 0
142         break
143     end
144
145 end
146
147 plot(x, y)
148
```

```
149 hold on
150 grid on
151 xlim([0 14])
152 ylim([0 3.5])
153 %rectangle('Position',[1.5,0,0.5,0.8]);
154 %set(gca,'XTick',0:0.5:5)
155 %set(gca,'YTick',0:0.5:4)
156 xlabel('Schussweite/m')
157 ylabel('Schusshöhe/m')
158 %set(rectangle,'Position',[1.5,0,0.5,0.8],'LineWidth',3,'FaceColor','r');
159 %axis equal
160
161 x_max=x(i)
162 y_max=max(y)
163
164
165
166 end
167
168
169 %[type, sheets] = xlsfinfo('flugbahn.xls')
170
171 %xlswrite('flugbahn.xls', S, 'Flugbahn', 'Test');
```


Berechnung der Jacobion Matrix

Mit freundlicher Genehmigung von Norbert Rath

```
1 function [J] = getJacobian(A,x_sym)
2
3
4 [m,s] = size (A);
5 n=length(x_sym);
6 J = [];
7 for in = 1:n
8     J_lok = diff(A,x_sym(in));
9     J = [J,J_lok];
10 end
```

Newton Verfahren

(Mit freundlicher Genehmigung von Norbert Rath)

```

1 function [x] = sukzessiveApp_Newton(f,x_sym,x0,epsilon)
2
3 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Definitions %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
4 J      =   getJacobian(f,x_sym);           % Jacobian Matrix
5 x      =   x0;                             % searched Variables (from latest step)
6 x_old  =   x0;                             % searched Variables (from one step befor)
7 res    =   norm( subs(f,x_sym.',x0.')); % residuum
8 d_res  =   -1;                             % differende of the last two steps residuen
9 circleCounter = 1;                         % counter, counting the number of steps so
   far
10 circleLimit = 200;                         % maximum number of steps
11 damping = 1;                               % damping for damped Newton-Algorithm
12 resContainer = zeros(circleLimit+1);      % container that stores the residuen of
   ervery iteration step
13 dampingContainer = zeros(circleLimit+1); % container that stores the samping of
   ervery iteration step
14
15 %%'-----'
16
17 %%%%%%%%%%5 FOR DEBUG ONLY %%%%%%%%%%
18 resContainer(1) = res;
19 %%%%%%%%%%
20
21 while(res>epsilon)
22
23   %% Create the Jacobain matrix (make sure that m>=n for pseudo-Inverse)%
24   J_c = subs(J,x_sym.',x.');
25   [m,n] = size (J_c);
26   while m<n
27       J_c=[J_c ;zeros(1,n)];
28       [m,n] = size (J_c);
29   end
30
31
32   %%%% Create the Störvektor (make sure that m>=n for pseudo-Inverse)%%%
33   f_c = subs(f,x_sym.',x.');
34   while length(f_c)<m
35       f_c=[f_c ;0];
36   end
37
38
39   %%%% Invert the Jacobain matrix (eigther ordinary or pseudo) %%%%%%%%%%
40   if cond(J_c) >10^6           % if Jc (almost) singulary ...
41
42       [U,w,V]= svd(J_c);      %...create inv(J_c) by "Singular value decomposition"(
   SVD)

```

```

43     for ii = 1:length(w)
44         wii = w(ii,ii);
45         if wii≠0;
46             w(ii,ii)=1/wii;
47         end
48     end
49
50     invJ_c = V*w*U.';
51
52     else % otherwise...
53         invJ_c=inv(J_c); %...create it the ordinary way.
54     end
55
56
57
58     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Do next iteration step
59     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
60     x_lok=x-damping*invJ_c*f_c; % create LOKAL solution
61     res_lok = norm( subs(f,x_sym.',x_lok.')); % create LOKAL residuum
62     d_res = res_lok - res; % calculate change of residuum
63
64     if(d_res<0) % if residuum is shrinking...
65         res = res_lok; % ...set lokal values to global...
66         x=x_lok;
67         damping=1; % ..and reset damping to one
68         again.
69     else % Otherwise...
70         damping = damping*1/2; % increase damping.
71     end
72
73     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% failesave %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
74     circleCounter = circleCounter+1;
75     resContainer(circleCounter) = res; % current residuum is stored in the
76     resContainer % current residuum is stored in the
77     dampingContainer(circleCounter) = damping; % current damping is stored in the
78     dampingContainer
79     if circleCounter>circleLimit % If the solution is not found in a
80     max number of iterations ...
81
82     figure(1); hold on; % residuen and damping over
83     the time are displayed in order to help find the problem.
84     title('Residuum'); xlabel('Schritte'); ylabel('Residuum'); plot(
85     resContainer); hold off
86
87     figure(2);hold on;
88     title('Dämpfung'); xlabel('Schritte'); ylabel('Dämpfung'); plot(
89     dampingContainer); hold off;
90
91     error('Calculation is possibly divergent!','Error') % Then the process is

```

```

        terminated
86     end
87 end
88
89
90
91 %% Making all "numeric zeros" to "real zero" %%
92 for ii=1:length(x)
93     if abs(x(ii))< epsilon
94         x(ii)=0;
95     end
96 end
97
98
99 x;
100 res;
```

Vergleichsscript für verschiedene Übersetzungen

```
1 clc
2 clear
3
4 phi=5*pi/180;
5 phi_ende=75*pi/180;
6 Δ_phi=1*pi/180;
7 jj=1;
8 kraefte1x=500;
9 kraefte5x=3*kraefte1x;
10 kraefte1=0;
11 kraefte5=0;
12 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
13 kraefte1(jj,1)=kraefte1x;
14 kraefte5(jj,1)=kraefte5x;
15 jj=jj+1;
16 end
17
18 %Funktionen für Krafteinlesen
19 [FBall] = pendel();
20
21 [kraefte3] = parallelogramm();
22
23 [kraefte4, phi_container] = schere();
24
25 plot(phi_container*180/pi, kraefte1, phi_container*180/pi, FBall, phi_container*180/pi,
      kraefte3, phi_container*180/pi, kraefte4, phi_container*180/pi, kraefte5)
26
27 % hold on
28 grid on
29 xlim([phi*180/pi phi_ende*180/pi])
30 %ylim([0 500])
31 %set(gca, 'XTick', 0:0.5:5)
32 %set(gca, 'YTick', 0:0.5:4)
33 xlabel('Auslenkwinkel/°')
34 ylabel('Kraft/N')
35 %axis equal
36 legend('gerade Fläche', 'Pendel', 'Parallelogramm', 'Schere', 'Variabel'); % Kurven
      beschriften
```

Übersetzung des Parallelogramms

```

1 function [kraefte3] = parallelogramm()
2
3 Fzyl=500;
4 phi=5*pi/180;
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=75*pi/180;
7 l2=0.03;
8 l1=0.03;
9 l3=0.2;
10 lzyl_ende=0.17;
11 phi_container=0;
12
13 jj=1;
14 a=sqrt(l1^2+lzyl_ende^2); %STIMMT
15 ny_ende=acos(l1/a); %STIMMT
16 ny_start=ny_ende+phi_ende-phi; %STIMMT
17
18 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
19
20     phi_akt=phi+jj*Δ_phi %STIMMT
21     lzyl_akt=sqrt(l1^2+a^2-(2*l1*a*cos(ny_start-jj*Δ_phi))); %STIMMT
22     xi_akt=acos(-(a^2-l1^2-lzyl_akt^2)/(2*lzyl_akt*l1)); %STIMMT
23     xu=xi_akt*180/pi; %TESTRUTINE
24
25
26
27 %Energiebetrachtung
28
29 d_y=l2*sin(phi_akt)-l2*sin(phi);
30 d_x=sqrt((l1*(cos(phi)-cos(phi_akt)))^2+(l1*(sin(phi_akt)-sin(phi)))^2);
31
32 FBall_energie_Para(jj,1)=Fzyl*d_x/d_y;
33
34 %Fachwerksbetrachtung Parallelogramm 12 Unbekannte/12 Gleichungen
35
36 Fzylx=Fzyl*cos(xi_akt-phi_akt)
37 Fzyl_y=Fzyl*sin(xi_akt-phi_akt)
38
39 u=cos(phi_akt);
40 v=sin(phi_akt);
41
42 epsilon=0.01;
43 x0=[500;500;500;500;500;500;500;500;500;500];
44 syms F1x F1y F2x F2y Fkx Fky Flx Fly FBall;
45 x_sym=[F1x;F1y;F2x;F2y;Fkx;Fky;Flx;Fly;FBall];
46 f(1,1)=Fzylx-Flx+F1x;
47 f(2,1)=-Fzyl_y+F1y-F1y;

```

```
48 f(3,1)=Fzylx*11*u+Fzylx*11*v-F1x*12*v-F1y*12*u;
49 f(4,1)=-F1x+F2x;
50 f(5,1)=F1y-FBall+F2y;
51 f(6,1)=-FBall*13/2+F2y*13;
52 f(7,1)=-F2x+Fkx;
53 f(8,1)=Fky-F2y;
54 f(9,1)=F2x*12*v-F2y*12*u;
55
56 [kraefte] = sukzessiveApp_Newton(f, x_sym, x0, epsilon);
57
58 FBall_Para(jj,1)=kraefte(9,1)
59 FLager(:,jj)=kraefte
60 phi_container(jj,1)=phi_akt;
61 jj=jj+1;
62 end
63
64     FLager(1,:)=[];
65     FLager(1,:)=[];
66     FLager(1,:)=[];
67     FLager(1,:)=[];
68
69 kraefte3=FLager(5,:);
```

Übersetzung der Scherenanordnung

```
1 function [kraefte4, phi_container] = schere()
2
3 Fzyl=500;
4 phi=4*pi/180; %Es muss ein Winkel von einem Grad weniger eingeben, da jj später
   falsch geht. wen das eingehalten wird stimmt die berechnung!
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=74*pi/180;
7 l1=0.03;
8 l2=0.03;
9 %l3=rbc(2,3);
10 l4=0.01;
11
12 jj=1;
13 lzyl_akt=0;
14 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
15     phi_akt=phi+jj*Δ_phi; %STIMMT
16     kappa_akt=pi-2*phi_akt; %STIMMT
17     kappa2_akt=pi-kappa_akt; %STIMMT
18     l3_akt=sqrt(2*l2^2-2*l2^2*cos(kappa_akt)); %STIMMT
19     l5_akt=sqrt(2*l1^2-2*l1^2*cos(kappa_akt)); %STIMMT
20     lzyl_akt=sqrt(l4^2+l1^2-2*l4*l1*cos(kappa2_akt)); %STIMMT
21     xi=acos((l5_akt^2+lzyl_akt^2-(l1+l4)^2)/(2*l5_akt*lzyl_akt)); %STIMMT
22     lzyl_save(jj,1)=lzyl_akt;
23
24 %Energiebetrachtung
25
26 d_y=(l1+l2)*sin(phi_akt)-(l1+l2)*sin(phi);
27 d_x=lzyl_akt-lzyl_save(1,1);
28
29 FBall_energie(jj,1)=Fzyl*d_x/d_y;
30
31 %Fachwerksbetrachtung Schere (hier versteckt sich noch ein Fehler, alles
32 %oberhalb passt)
33
34 Fzylx=Fzyl*cos(xi)%STIMMT
35 Fzyly=Fzyl*sin(xi)%STIMMT
36
37 u=cos(phi_akt);
38 v=sin(phi_akt);
39
40 epsilon=0.01;
41 x0=[500;500;500;500;500;500;500;500;500];
42 syms Bx FBall Dy Cx Ay Ax By Cy Ey;
43 x_sym=[Bx;FBall;Dy;Cx;Ay;Ax;By;Cy;Ey];
44
45 f(1,1)=Bx;
46 f(2,1)=By-FBall+Dy;
```



```
47 f(3,1)=-FBall*l3_akt/2+Dy*l3_akt;
48 f(4,1)=Cx-Ax;
49 f(5,1)=Cy+Ay-Dy;
50 f(6,1)=Ax*l1*v+Ay*l1*u-Dy*(l1+l2)*u;
51 f(7,1)=Bx+Ax+Fzylx;
52 f(8,1)=-By-Ay+Ey+Fzylly;
53 f(9,1)=Ax*l2*v-Ay*l2*u+Ey*(l1+l2)*u+Fzylx*(l2-l4)*v+Fzylly*(l2-l4)*u;
54
55 [kraefte] = sukzessiveApp_Newton(f, x_sym, x0, epsilon)
56
57 FLager(:,jj)=kraefte
58 phi_container(jj,1)=phi_akt;
59
60 %FBall_Schere(jj,1)=kraefte(9,1)
61 jj=jj+1;
62 end
63 kraefte4=FLager(2,:);
64
65
66     FLager(6,:)=[];
67     FLager(6,:)=[];
68     FLager(7,:)=[];
69     FLager(1,:)=[];
```

Übersetzung des Pendels

```
1 function [FBall] = pendel()
2
3 Fzyl=500;
4 phi=5*pi/180;
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=75*pi/180;
7 l1=0.03;
8 l2=0.03;
9 lzyl_ende=0.17;
10 phi_container=0;
11
12 jj=1;
13 a=sqrt(l1^2+lzyl_ende^2); %STIMMT
14 ny_ende=acos(l1/a); %STIMMT
15 ny_start=ny_ende+phi_ende-phi; %STIMMT
16
17 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
18
19     phi_akt=phi+jj*Δ_phi %STIMMT
20     lzyl_akt=sqrt(l1^2+a^2-(2*l1*a*cos(ny_start-jj*Δ_phi))); %STIMMT
21     xi_akt=acos(-(a^2-l1^2-lzyl_akt^2)/(2*lzyl_akt*l1)); %STIMMT
22     xu=xi_akt*180/pi; %TESTRUTINE
23
24     %Berechnung wirkende Aktorkraft
25
26     Fzylx=Fzyl*cos(xi_akt-phi_akt);
27     Fzily=Fzyl*sin(xi_akt-phi_akt);
28
29     FBy=(Fzylx*sin(phi_akt)*l1+Fzily*cos(phi_akt)*l1)/(l2*(cos(phi_akt)+tan(phi_akt)*
        sin(phi_akt)));
30     FBx=FBy*tan(phi_akt);
31     A_x=FBx+Fzylx;
32     A_y=FBy+Fzily;
33     A(jj)=sqrt(A_x^2+A_y^2);
34     FBall(jj)=sqrt(FBy^2+FBx^2);
35     phi_container(jj,1)=phi_akt;
36
37     jj=jj+1;
38 end
```

Vergleichsscript für Anfangsgeschwindigkeiten

```
1 clc
2 clear
3
4 phi=5*pi/180;
5 phi_ende=75*pi/180;
6 Δ_phi=1*pi/180;
7 jj=1;
8 v1=10;
9 v5x=10;
10 v1x=10;
11 v5=0;
12 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
13 v1(jj,1)=v1x;
14 v5(jj,1)=v5x;
15 jj=jj+1;
16 end
17
18 %Funktionen für Krafteinlesen
19 [v2] = v_pendel();
20
21 [v3] = v_parallelogramm();
22
23 [v4, phi_container] = v_schere();
24
25 plot(phi_container*180/pi,v1,phi_container*180/pi,v2,phi_container*180/pi,v3,
      phi_container*180/pi,v4)
26
27 % hold on
28 grid on
29 xlim([phi*180/pi phi_ende*180/pi])
30 %ylim([0 500])
31 %set(gca,'XTick',0:0.5:5)
32 %set(gca,'YTick',0:0.5:4)
33 xlabel('Auslenkwinkel/°')
34 ylabel('Geschwindigkeit/m/s')
35 %axis equal
36 legend('gerade Fläche, Variabel','Pendel','Parallelogramm','Schere');% Kurven
      beschriften
```

Übersetzung der Parallellogrammgeschwindigkeit

```
1 function [v3] = v_parallelogramm()
2
3 vzy1=10;
4 phi=5*pi/180;
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=75*pi/180;
7 l2=0.03;
8 l1=0.03;
9 l3=0.2;
10 lzyl_ende=0.17;
11 phi_container=0;
12
13 jj=1;
14 a=sqrt(l1^2+lzyl_ende^2); %STIMMT
15 ny_ende=acos(l1/a); %STIMMT
16 ny_start=ny_ende+phi_ende-phi; %STIMMT
17
18 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
19
20     phi_akt=phi+jj*Δ_phi %STIMMT
21     lzyl_akt=sqrt(l1^2+a^2-(2*l1*a*cos(ny_start-jj*Δ_phi))); %STIMMT
22     xi_akt=acos(-(a^2-l1^2-lzyl_akt^2)/(2*lzyl_akt*l1)); %STIMMT
23
24
25 vzy1x=vzy1*cos(xi_akt-phi_akt);
26 omega=vzy1x/(sin(phi_akt)*l1);
27 vBall=omega*l2*cos(phi_akt);
28 v3(jj)=vBall;
29
30
31
32 jj=jj+1;
33 end
```

Übersetzung der Scherengeometrie

```
1 function [v4, phi_container] = v_schere()
2
3 vzy1=10;
4 phi=4*pi/180; %Es muss ein Winkel von einem Grad weniger eingeben, da jj später
   falsch geht. wen das eingehalten wird stimmt die berechnung!
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=74*pi/180;
7 l1=0.03;
8 l2=0.03;
9 %l3=rbc(2,3);
10 l4=0.01;
11
12 jj=1;
13 lzyl_akt=0;
14 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
15     phi_akt=phi+jj*Δ_phi; %STIMMT
16     kappa_akt=pi-2*phi_akt; %STIMMT
17     kappa2_akt=pi-kappa_akt; %STIMMT
18     l3_akt=sqrt(2*l2^2-2*l2^2*cos(kappa_akt)); %STIMMT
19     l5_akt=sqrt(2*l1^2-2*l1^2*cos(kappa_akt)); %STIMMT
20     lzyl_akt=sqrt(l4^2+l1^2-2*l4*l1*cos(kappa2_akt)); %STIMMT
21     xi=acos((l5_akt^2+lzyl_akt^2-(l1+l4)^2)/(2*l5_akt*lzyl_akt)); %STIMMT
22     vzy1_x=vzy1*cos(xi);
23     omega=vzy1_x/(sin(kappa2_akt/2)*l4);
24     v_Ball=l2*omega*sin(phi_akt);
25
26
27     phi_container(jj,1)=phi_akt;
28 v4(jj)=v_Ball;
29 jj=jj+1;
30 end
```

Übersetzung des Pendels

```
1 function [v2] = v_pendel()
2
3 vzy1=10;
4 phi=5*pi/180;
5 Δ_phi=1*pi/180;
6 phi_ende=75*pi/180;
7 l1=0.03;
8 l2=0.03;
9 phi_container=0;
10 lzyl_ende=0.17;
11
12 jj=1;
13 a=sqrt(l1^2+lzyl_ende^2); %STIMMT
14 ny_ende=acos(l1/a); %STIMMT
15 ny_start=ny_ende+phi_ende-phi; %STIMMT
16
17 for ii=phi:Δ_phi:phi_ende
18
19     phi_akt=phi+jj*Δ_phi %STIMMT
20     lzyl_akt=sqrt(l1^2+a^2-(2*l1*a*cos(ny_start-jj*Δ_phi))); %STIMMT
21     xi_akt=acos(-(a^2-l1^2-lzyl_akt^2)/(2*lzyl_akt*l1)); %STIMMT
22     xu=xi_akt*180/pi; %TESTROUTINE
23
24     %Berechnung wirkende Aktorkraft
25
26     vzy1x=vzy1*cos(xi_akt-phi_akt);
27     omega=vzy1x/(cos(phi_akt)*l1);
28     vBall=omega*l2;
29
30     v2(jj)=vBall;
31     jj=jj+1;
32 end
```

Kontrolle des Klemmwinkels

```
1  clc
2  clear
3
4  phi=70*pi/180; %[rad]
5  F_aktor=800; %[N]
6  my=0.45;
7  Δ_phi=-1*pi/180;
8  F_Ball=F_aktor;
9  i=1;
10
11 for winkel=phi:Δ_phi:0
12 F_ball_y(i)=F_Ball*sin(winkel);
13 R_y(i)=F_Ball*my*cos(winkel);
14 auslenkung(i)=winkel*180/pi
15 i=i+1;
16
17
18 end
19 container(1,:)=R_y;
20 container(2,:)=F_ball_y
21 plot(auslenkung,container)
22
23 % hold on
24 % grid on
25 % xlim([0 14])
26 % ylim([0 3.5])
27 %set(gca,'XTick',0:0.5:5)
28 %set(gca,'YTick',0:0.5:4)
29 xlabel('Auslenkwinkel/°')
30 ylabel('Kraft/N')
31 %axis equal
32 legend('Reibkraft', 'Normalkraft');% Kurven beschriften
33
34 % x_max=x(i)
35 % y_max=max(y)
```

Berechnung der Biegeschwingungen des Prüfstandsbaus

Berechnung der Eigenfrequenz des Kickprüfstands

Länge des Kragarms

$$l_{\text{kragarm}} := 24 \text{ mm}$$

Mittlerer Durchmesser der Elastomerspitze

$$d := 14 \text{ mm}$$

kWert für Gamma aus Parkus Tabelle

$$k := 1.875$$

$$\text{gamma} := \frac{k}{l_{\text{kragarm}}} \quad \text{gamma} = 78.125 \frac{1}{\text{m}}$$

Materialeigenschaften (angenäherte Werte)

$$\rho_{\text{gummi}} := 940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$E_{\text{Gummi}} := 0.05 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Geometrieigenschaften

$$A_{\text{gummi}} := d^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$I_{\text{Gummi}} := \pi \cdot \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^4}{4} \quad I_{\text{Gummi}} = 1.886 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

Errechnen der Eigenfrequenz

$$\omega := \left[\frac{(E_{\text{Gummi}} \cdot I_{\text{Gummi}})}{\rho_{\text{gummi}} \cdot A_{\text{gummi}}} \right]^{\left(\frac{1}{2}\right)} \cdot \text{gamma}^2 \quad \omega = 4.927 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

$$f := \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \quad f = 784.132 \text{ Hz}$$

$$T_{\text{schwing}} := \frac{1}{f} \quad T_{\text{schwing}} = 1.275 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Quellen für Materialkennwerte:

http://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_Dichte_fester_Stoffe

http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_7/illustr/t7_1_2.html

Datenblätter

Material Laser/Biegeteile



EN AW 5754

Werkstoffangaben	
Legierung	EN AW 5754 [AlMg3]
Legierungstyp	nicht aushärtbar, naturhart
Werkstoffzustand	H111
Oberfläche	walzblank oder gebürstet

Mechanische Eigenschaften		typische Werte
Dehngrenze	[MPa]	80
Zugfestigkeit	[MPa]	190
Bruchdehnung A ₅₀	[%]	12
Härte HBW	[2,5/62,5]	50

Physikalische Eigenschaften		typische Werte
Dichte	[g/cm ³]	2,67
Elastizitätsmodul	[GPa]	~ 70
Elektrische Leitfähigkeit	[m / Ω mm ²]	20-23
Wärmeausdehnungskoeffizient	[K ⁻¹ · 10 ⁻⁶]	23,9
Wärmeleitfähigkeit	[W/m · K]	140 - 160
Spezifische Wärmekapazität	[J/kg · K]	900

Technologische Eigenschaften ²⁾	
Formstabilität/Eigenstressung	3 - 4
Zerspanbarkeit	4
Erodierbarkeit	1
Schweißen (Gas / WIG / MIG / Widerstand / EB)	2/1/1/3/1
Korrosionsbeständigkeit (Meerwasser / Witterung / SpRK)	1/1/3
Temperatureinsatz (max°C bei Dauer / Kurzezeiteinsatz)	120 / 180
Verformbarkeit	2
Anodisieren (technisch / dekorativ / Hart-) ²⁾	1/3/1
Polierbarkeit	1 - 2
Eignung zum Strukturätzen	4 - 5
Kontakt mit Lebensmitteln (nach DIN EN 602)	ja

Toleranzen			
bei Dicke [mm]	Ebenheit [mm] ⁴⁾	Dicke [mm]	Länge & Breite [mm]
3 - 50	DIN EN 485-3	DIN EN 485-3	DIN ISO 2768-1m

Lieferformate (lagergeführte Abmessungen)		
Formate	1520 x 3020 mm	bei Dicken von 3- 50 mm
Lagergeführte Dicken	3 -6 mm	in 1 mm Schritten
Lagergeführte Dicken	8-12 mm	in 2 mm Schritten
Lagergeführte Dicken	15- 35 mm	in 5 mm Schritten
Lagergeführte Dicken	40 - 50 mm	in 10 mm Schritten

Stand: 16.02.2011

- 1) Typische Werte bei Raumtemperatur
- 2) Relative Bewertung der Aluminiumwerkstoffe von 1 (sehr gut) bis 6 (ungeeignet)
- 3) Ausschl. technisches Anodisieren. Keine Gewährleistung auf Farbgestaltung/-ausbildung
- 4) Die Ebenheitstoleranzen werden ausschließlich an ganzen Platten (pro Meter) auf Messtischen ermittelt.

© ist ein eingetragenes Warenzeichen der

Material Rundstangen



Al Rundstangen

EN AW 2007

TECHNISCHES DATENBLATT

EN AW 2007

Werkstoffangaben	
Legierung	EN AW 2007 [AlCu4PbMgMn]
Werkstoffzustand	T4,T4510,T4511
Oberfläche	pressblank

Mechanische Eigenschaften		typische Werte
Dehngrenze	[MPa]	210 - 250
Zugfestigkeit	[MPa]	330 - 370
Bruchdehnung A ₅	[%]	7 - 8

Physikalische Eigenschaften		typische Werte
Dichte	[g/cm ³]	2,85
Elastizitätsmodul	[GPa]	~ 70
Elektrische Leitfähigkeit	[m / Ω mm ²]	18 - 22
Wärmeausdehnungskoeffizient	[K ⁻¹ · 10 ⁻⁶]	23,0
Wärmeleitfähigkeit	[W/m · K]	130 -160
Spezifische Wärmekapazität	[J/kg · K]	900

Technologische Eigenschaften ²⁾	
Formstabilität/Eigenspannung	2
Zerspänbarkeit	1
Erodierbarkeit	1
Schweißen (Gas / WIG / MIG / Widerstand / EB)	6/6/6/6
Korrosionsbeständigkeit (Meerwasser / Witterung / SpRK)	5/5/4
Temperatureinsatz (max°C bei Dauer / Kurzezeiteinsatz)	90/120
Verformbarkeit	4
Anodisieren (technisch / dekorativ / Hart-) ²⁾	5/6/4
Polierbarkeit	3
Eignung zum Strukturätzen	5
Kontakt mit Lebensmitteln (nach DIN EN 602)	nein

Toleranzen			
bei Dicke [mm]	Ebenheit [mm] ⁴⁾	Dicke [mm]	Länge & Breite [mm]

Lieferformate (lagergeführte Abmessungen)	
Formate	3000 mm bei Dicken von 10 - 300 mm

Stand: 16.02.2011

- 1) Typische Werte bei Raumtemperatur
- 2) Relative Bewertung der Aluminiumwerkstoffe von 1 (sehr gut) bis 6 (ungeeignet)
- 3) Ausschl. technisches Anodisieren. Keine Gewährleistung auf Farbgestaltung/-ausbildung
- 4) Die Ebenheitstoleranzen werden ausschließlich an ganzen Platten (pro Meter) auf Messtischen ermittelt.

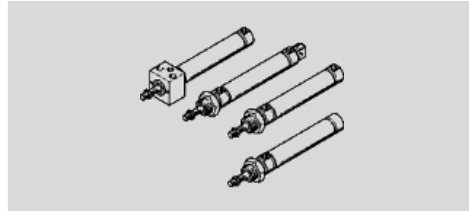
© ist ein eingetragenes Warenzeichen der

Rundzylinder

Datenblatt: Rundzylinder DSNU-40- -- 193993



Funktion



Merkmale	Werte
Hub	1 - 500 mm
Kolben-Durchmesser	40 mm
Basierend auf Norm	ISO 15552 (bisher auch VDMA 24652, ISO 6431, NF E49 003, 1, UNI 10290)
Dämpfung	P: elastische Dämpfungsringe/-platten beidseitig PPV: pneumatische Dämpfung beidseitig einstellbar PPS: selbststellende pneumatische Endlagendämpfung
Einbaulage	beliebig
Konstruktiver Aufbau	Kolben Kolbenstange Zylinderrohr
Positionserkennung	für Näherungsschalter
Varianten	K2: Verlängertes Kolbenstangen-Außengewinde K3: Innengewinde an der Kolbenstange K5: Sondergewinde an der Kolbenstange K6: Kolbenstangen-Außengewinde einseitig verkürzt K8: Verlängerte Kolbenstange KP: Feststelleinheit an der Kolbenstange MA: Druckluftanschluss axial MH: mit Direktbefestigung MQ: Druckluftanschluss quer Q: Quadratische Kolbenstange R3: Alle Zylinderäußenflächen erfüllen die Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK3 (hoher Korrosionsschutz) R8: Staubschutz S10: Slow speed (Konstantlauf bei niedrigen Kolbengeschwindigkeiten) S11: Low friction (Leichtlauf) S2: Durchgehende Kolbenstange S6: Warmfeste Dichtungen max. 120 °C einseitige Kolbenstange
Verdrehsicherung/Führung	quadratische Kolbenstange
Betriebsdruck	1 - 10 bar
Funktionsweise	doppeltwirkend
ATEX-Kategorie Gas	II 2G
Ex-Zündschutzart Gas	c T4
ATEX-Kategorie Staub	II 2D
Ex-Zündschutzart Staub	c 120°C
Ex-Umgebungstemperatur	-20°C ≤ Ta ≤ +60°C
Betriebsmedium	getrocknete Luft, geölt oder ungeölt
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach EU-Ex-Schutz-Richtlinie (ATEX)
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2 3

Rundzylinder Seite 2**FESTO**

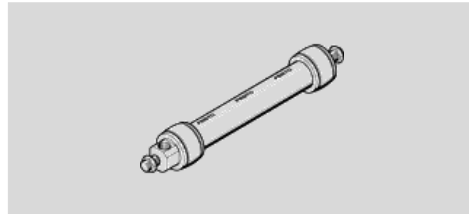
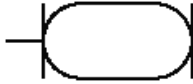
Merkmal	Werte
Umgebungstemperatur	-20 - 120 °C
Dämpfungslänge	18 mm
Theoretische Kraft bei 6 bar, Rücklauf	633 N
Theoretische Kraft bei 6 bar, Vorlauf	753 N
Bewegte Masse bei 0 mm Hub	230 g
Gewichtszuschlag pro 10 mm Hub	24 g
Grundgewicht bei 0 mm Hub	661 g
Zuschlag bewegte Masse pro 10 mm Hub	16 g
Befestigungsart	mit Zubehör
Pneumatischer Anschluss	G1/4
Werkstoffinformation Deckel	Aluminium-Knetlegierung
Werkstoffinformation Dichtungen	NBR TPE-U(PU)
Werkstoffinformation Kolbenstange	hochlegierter Stahl rostfrei
Werkstoffinformation Zylinderrohr	hochlegierter Stahl rostfrei

Pneumatischer Muskel

Datenblatt: Fluidic Muscle DMSP-20- -- 541404

FESTO

Funktion

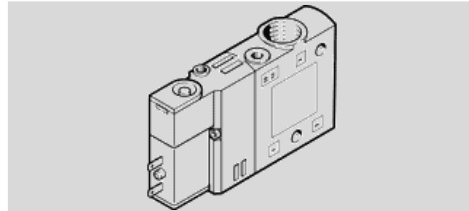
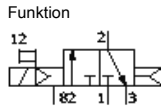


Merkmal	Werte
Baugröße	20
Durchmesseraufweitung bei max. Kontraktion	39 mm
Hub	15 - 2.250 mm
Hysterese mit Last	$\leq 2\%$ der Nennlänge
Hysterese ohne Last	$\leq 2,5\%$ der Nennlänge
Max. Kontraktion	25 % der Nennlänge
Max. Vorreckung	4 % der Nennlänge
Nennlänge	60 - 9.000 mm
Relaxation bei Raumtemperatur	$\leq 3\%$ der Nennlänge
Wiederholgenauigkeit	$\leq 1\%$ der Nennlänge, zyklisch
Zulässige Parallelitätstoleranz	≤ 2 mm ab 400 mm Nennlänge
Zulässige Winkeltoleranz	≤ 1 deg
Einbaulage	beliebig
Konstruktiver Aufbau	Kontraktionsmembran
Betriebsdruck	0 - 6 bar
Funktionsweise	einfachwirkend ziehend
Betriebsmedium	gefilterte, nicht geölte Druckluft gefilterte, geölte Druckluft
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2
Umgebungstemperatur	-5 - 60 °C
Max. Zulast frei hängend	80 kg
Theoretische Kraft Fluidic Muscle bei maximalem Betriebsdruck	1.500 N
Theoretische Kraft bei 6 bar	1.500 N
Gewichtszuschlag pro 1 m Länge	178 g
Pneumatischer Anschluss	G1/4
Werkstoffhinweis	Kupfer- und PTFE-frei LABS-haltige Stoffe enthalten
Werkstoffinformation Flansch	Aluminium-Knetlegierung farblos eloxiert
Werkstoffinformation Hülse	Aluminium-Knetlegierung farblos eloxiert
Werkstoffinformation Membran	AR CR
Werkstoffinformation Mutter	Stahl verzinkt

Magnetventil CPE14M1BH

Datenblatt: Magnetventil CPE14-M1BH-3GL-1/8 – 196929

FESTO

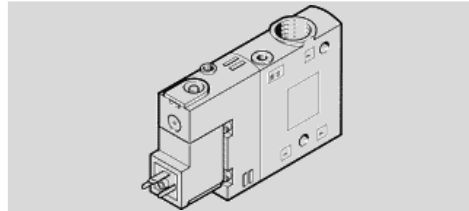
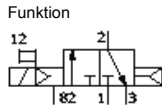


Merkmale	Werte
Ventilfunktion	3/2 geschlossen monostabil
Betätigungsart	elektrisch
Baubreite	14 mm
Normalnennendurchfluss	900 l/min
Betriebsdruck	2,5 - 8 bar
Konstruktiver Aufbau	Kolben-Schieber
Rückstellart	pneumatische Feder
Schutzart	IP65 mit Steckdose nach IEC 60529
Zulassung	Germanischer Lloyd c UL us - Recognized (OL)
Nennweite	6 mm
Dichtprinzip	weich
Einbaulage	beliebig
Handhilfsbetätigung	mit Zubehör rastend tastend
Steuerart	vorgesteuert
Ventilplatz-Kennzeichnung	Schildträger
Schaltzeit aus	27 ms
Schaltzeit ein	16 ms
Einschaldauer	100% mit Haltestromabsenkung
Spulenkennwerte	24V DC: 1,28W
Zulässige Spannungsschwankungen	-15 % / +10 %
Betriebsmedium	gefilterte Druckluft, Filterfeinheit 40 µm, geölt oder ungeölt
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2
Mediumtemperatur	-5 - 50 °C
Umgebungstemperatur	-5 - 50 °C
Produktgewicht	60 g
Elektrischer Anschluss	2-polig
Befestigungsart	mit Durchgangsbohrung
Anschluss Steuerluft 82	M3
Anschluss Steuerluft 12	M3
Pneumatischer Anschluss 1	G1/8
Pneumatischer Anschluss 2	G1/8
Pneumatischer Anschluss 3	G1/8
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoffinformation Dichtungen	NBR
Werkstoffinformation Gehäuse	Aluminium-Druckguss

Magnetventil CPE18M1H

Datenblatt: Magnetventil CPE18-M1H-3GL-1/4 – 163141

FESTO



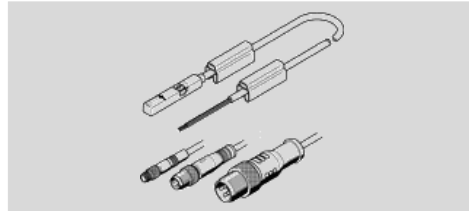
Merkmal	Werte
Ventilfunktion	3/2 geschlossen monostabil
Betätigungsart	elektrisch
Baubreite	18 mm
Normalnennendurchfluss	1.300 l/min
Betriebsdruck	2,5 - 10 bar
Konstruktiver Aufbau	Kolben-Schieber
Rückstellart	pneumatische Feder
Schutzart	IP65 mit Steckdose nach IEC 60529
Zulassung	Germanischer Lloyd c UL us - Recognized (OL)
Nennweite	8 mm
Dichtprinzip	weich
Einbaulage	beliebig
Handhilfsbetätigung	mit Zubehör rastend tastend
Steuerart	vorgesteuert
Ventilplatz-Kennzeichnung	Schildträger
Schaltzeit aus	18 ms
Schaltzeit ein	28 ms
Einschaldauer	100%
Spulenkennwerte	24V DC: 1,5W
Zulässige Spannungsschwankungen	-15 % / +10 %
Betriebsmedium	gefilterte Druckluft, Filterfeinheit 40 µm, geölt oder ungeölt
Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK	2
Mediumtemperatur	-5 - 50 °C
Umgebungstemperatur	-5 - 50 °C
Produktgewicht	150 g
Elektrischer Anschluss	Form C
Befestigungsart	mit Durchgangsbohrung
Anschluss Steuerluft 82	M5
Anschluss Steuerluft 12	M5
Pneumatischer Anschluss 1	G1/4
Pneumatischer Anschluss 2	G1/4
Pneumatischer Anschluss 3	G1/4
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoffinformation Dichtungen	NBR
Werkstoffinformation Gehäuse	Aluminium-Druckguss

Näherungsschalter SMT-8M

Datenblatt: Näherungsschalter SMT-8M – 543893



Funktion



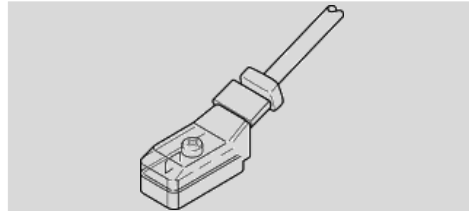
Merkmale	Werte
Zulassung	C-Tick c UL us - Listed (OL)
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach EU-EMV-Richtlinie
Werkstoffhinweis	Kupfer- und PTFE-frei RoHS konform
Messprinzip	magneto-resistiv
Umgebungstemperatur	-20 - 70 °C
Schaltelementfunktion	Öffner
Max. Ausgangsstrom	100 mA
Max. Schaltleistung DC	3 W
Kurzschlussfestigkeit	taktend
Überlastfestigkeit	vorhanden
Betriebsspannungsbereich DC	10 - 30 V
Abgangsrichtung Anschluss	längs
Kabellänge	0,2 - 30 m
Werkstoffinformation Kabelmantel	PUR
Befestigungsart	festgeschraubt von oben in Nut einsetzbar
Umgebungstemperatur bei beweglicher Kabelverlegung	-5 - 70 °C
Schutzart	IP65 IP68

Steckdosenleitung KMYZ

Datenblatt: Steckdosenleitung KMYZ-9-24-2,5-LED-PUR-B – 193687

FESTO

Funktion



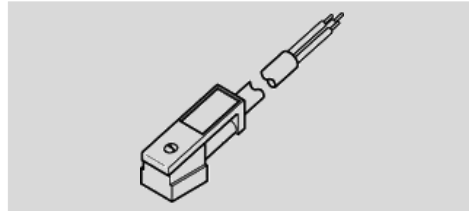
Merkmale	Werte
Einbaulage	beliebig
Schaltstellungsanzeige	LED
Nennbetriebsspannung DC	24 V
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung)	nach EU-EMV-Richtlinie
Schutzart	IP65
Umgebungstemperatur	-10 - 50 °C
Anziehdrehmoment	0,25 Nm
Produktgewicht	50 g
Elektrischer Anschluss	2-polig / 2-adrig Dose gewinkelt / Kabel viereckige Bauform / offenes Ende
Kabelaufbau	2 x 0,25 mm ²
Kabeldurchmesser	3,4 mm
Kabellänge	2,5 m
Schutzleiteranschluss	nicht vorhanden
Befestigungsart	auf Magnetventil mit Zentralschraube M2
Werkstoffhinweis	RoHS konform
Werkstoffinformation Gehäuse	PA
Werkstoffinformation Kabelmantel	PUR
Werkstoffinformation Steckkontakte	Bronze

Steckdosenleitung KMEB

Datenblatt: Steckdosenleitung KMEB-2-24-2,5-LED – 174844

FESTO

Funktion



Merkmal	Werte
Einbaulage	beliebig
Schaltstellungsanzeige	LED
Nennbetriebsspannung DC	24 V
Schutzart	IP65 nach IEC 60529
Umgebungstemperatur	-20 - 80 °C
Produktgewicht	200 g
Elektrischer Anschluss	4-polig Dose gewinkelt Form C nach DIN EN 175301-803
Kabelaufbau	3 x 0,75 mm ²
Kabeldurchmesser	6,2 mm
Kabellänge	2,5 m
Schutzleiteranschluss	vorhanden
Befestigungsart	auf Magnetventil mit Zentralschraube M2,5
Werkstoffinformation Gehäuse	PA POM
Werkstoffinformation Kabelmantel	PUR
Werkstoffinformation Steckkontakte	Bronze

Verwendetes Tauchequipment

Übersicht Tauchequipment

Druckluftspeicher (AP Valves Emergency Air Cylinder)**EURO Spec. Cylinder**

Emergency Air Cylinders

CODE: AP6

EURO Spec. Cylinder, CE Stamped.

(0.4 litre - 232 BAR), M18 x 1.5.

Druckregelventil (Cressi Ellipse Black MC5 Regulator)**1st Stage Features:**

The MC5 first stage hyper-balanced diaphragm

1 high pressure and 3 low pressure ports

Techno-polymer shell to protect its lightweight and compact body

Self-lubricating Internal coating

Anti-pressure drop pneumatics

Great travel regulator

Specifications:

- Supply pressure (INT connection) 0 to 3,400 psi (0-232 bar)
- Supply pressure (DIN connection) 0 to 3,000 psi or 4,350 psi (0-200 or 0-300 bar)
- Calibration pressure 145 psi (10 bars)
- Calibration adjustment range \pm 7 psi (\pm 0.5 bars)
- Air supply 4500 l/min (*)
- High Pressure Ports (HP) 1
- Low Pressure Ports (LP) 3

(*) values measured at LP port with second stage connected and 2,175 psi (150 bar) pressure in the tanks.

Linearer kaptiver Hybridschrittmotor



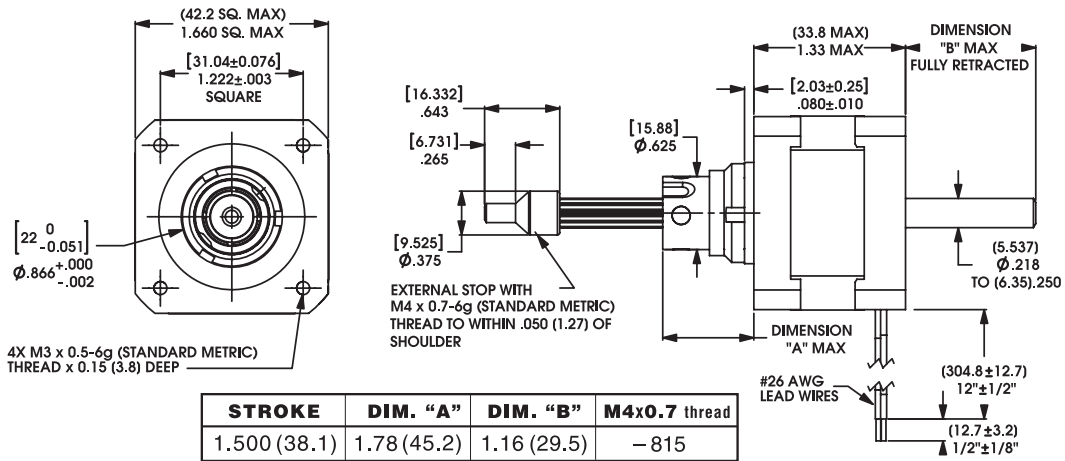
43000 Series Size 17
Hybrid Stepper Motor
Linear Actuator

Part Number:

43H4P-2.33-815

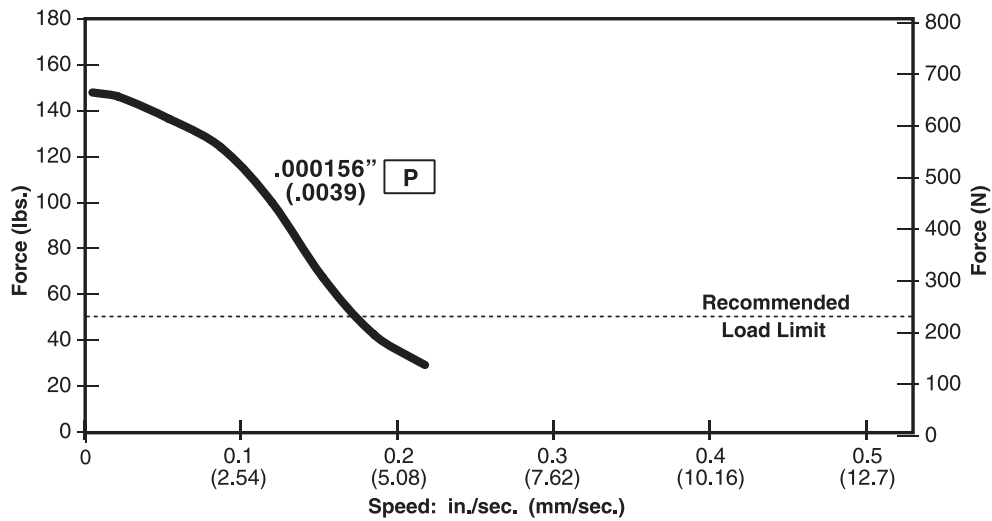
Measurement Units = (mm) decimal inches

Captive Shaft



Force vs. Linear Velocity

Bipolar • Chopper • 100% Duty Cycle • Ø 0.250-in. (6.35 mm) Leadscrew



NOTE: All chopper drive curves were created with a 5 volt motor and a 40 volt power supply.

Ramping can increase the performance of a motor either by increasing the top speed or getting a heavier load accelerated up to speed faster. Also, deceleration can be used to stop the motor without overshoot.



www.HaydonKerk.com

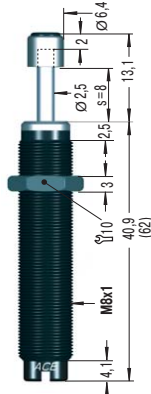
1.800.243.2715 International: 203.756.7441

NORTH AMERICA • EUROPE • ASIA

Miniaturindustriestoßdämpfer

ACE Klein-Stoßdämpfer MC30 Montageanleitung

Hinweis: Betriebsanleitung im Download www.ace-ace.de



Montagearten

<p>Verwendung des Montageblocks MBSC2</p> <p>Anzugsmoment: KMB = 4 Nm</p>	<p>Verwendung des Rechteckflansches RF</p>
<p>Einschrauben des Dämpfers in eine Gewindebohrung mit zusätzlicher Kontermutter</p> <p>Anzugsmoment: KMB = 4 Nm</p>	<p>Montage des Dämpfers in Durchgangsbohrung mit zwei Kontermuttern</p> <p>Anzugsmoment: KMB = 4 Nm</p>

Zubehör

Bei Verwendung von Zubehörteilen und Montageelementen beachten Sie bitte die entsprechenden separat gelieferten Montageanleitungen.

EU-Kennzeichnung

Ab dem Produktionsdatum September 2010 (Code IB oder 10244) sind alle Stoßdämpfer mit einer zusätzlichen EU-Buchstabenkombination in der Typenbezeichnung gekennzeichnet. Diese verweist auf die Einhaltung der in europäischen Wirtschaftsraum geforderten Normen, Gesetze und Richtlinien. Nur mit EU gekennzeichnete Produkte sichern die weltweite, nachvollziehbare Übereinstimmung mit europäischen Anforderungen, die Sicherstellung der Ersatzteile nach EU-Standard und eine Gewährleistung bei Haftungsfällen.

ACE Klein-Stoßdämpfer MC30 Montageanleitung

Hinweis: Betriebsanleitung im Download www.ace-ace.de

Berechnung und Auslegung

Um eine optimale, fehlerfreie und langjährige Funktion der Industrie-Stoßdämpfer zu gewährleisten, muss der Industrie-Stoßdämpfer richtig dimensioniert und ausgelegt werden. Hierzu müssen die folgenden Parameter bekannt sein und in die Berechnung einfließen:

- bewegte Masse [kg]
- Anprallgeschwindigkeit der Masse auf den bzw. die Stoßdämpfer [m/s]
- zusätzlich wirkende Antriebskraft, Antriebsleistung oder Antriebsmoment [N, kW, Nm]
- Anzahl der parallel wirkenden Stoßdämpfer [n]
- Anzahl der Hübe oder Takte pro Stunde [1/h]

WARNUNG

- Die Dämpfer müssen so dimensioniert werden, dass die berechneten Werte die Maximalwerte der jeweiligen Leistungstabelle (siehe Katalog) nicht überschreiten:
 W [Nm/Hub]
 V [m/s]
 effektive Masse m_e
 Max. Achsablenkung [°]
- Für eine korrekte Dämpferauslegung muss der Stoßdämpfer das einzige Bremsystem darstellen. Zusätzliche Bremsysteme wie z. B. eine pneumatische Endlagendämpfung, dürfen sich nicht mit der Endlagendämpfung durch den Stoßdämpfer überlagern und müssen unwirksam gemacht werden.

Die korrekte Dimensionierung der Stoßdämpfer kann mit dem ACE Online Berechnungsprogramm unter www.ace-ace.de erfolgen. Sie können uns zur Überprüfung auch das ausgefüllte Onlineformular per E-Mail zusenden. Oder Sie nutzen unseren kostenlosen Berechnungsservice unter der Telefonnummer: +49-2173-9226-20.

Einbauhinweise und Inbetriebnahme

Überprüfen Sie vor Einbau und Verwendung, ob die Typenbezeichnung auf dem Dämpfer oder auf der Verpackung mit der entsprechenden Bezeichnung auf dem Lieferschein übereinstimmt. Industrie-Stoßdämpfer sind wartungsfrei und einbaufertig.

WARNUNG

- Temperaturbereich: Die in der Leistungstabelle angegebenen Werte W und m_e (siehe Katalog) gelten für Raumtemperatur. Bei höheren Temperaturen gelten abweichende Werte.

Zulässiger Temperaturbereich: 0 °C bis 66 °C

Einbauhinweise: Beiliegend, jedoch immer so, dass der komplette Dämpferhub genutzt werden kann. Die Dämpfer immer so montieren, dass die Kräfte zentrisch über die Kolbenstange eingeleitet werden. Die maximale zulässige Achsablenkung von 2° darf nicht überschritten werden. Generell führt eine vorhandene Achsablenkung zu einer Reduzierung der Standzeit. Beim Überschreiten der maximal zulässigen Werte muss zwingend eine Bolzenverlagerung verwendet werden.

WARNUNG

- Bewegte Massen können beim Einbau der Dämpfer durch unüberwachtes Anfahren zu Verletzungen und Körperschäden führen. Bewegte Massen gegen unbeabsichtigtes Vorfahren sichern.

Stand 08.2010

Stand 08.2010

Gleitklebeband UHMW-Polyethylen-Gleitklebebänder5423

Klebeband-Merkmale*	5421	5423	5425
Träger	UHMW - Polyethylen		
Klebstoff	Gummi / Harz		Acrylat
Schutzabdeckung	Silikonisiertes Papier		
Dicke gesamt nach ASTM: D-3652	0,17 mm	0,28 mm	0,11 mm
Klebeband-Farbe	transparent		
Schälkraft auf Stahl nach ASTM: D-3330	28 N / 100 mm	28 N / 100 mm	33 N / 100 mm
Bruchlast nach ASTM: D-3759	526 N / 100 mm	963 N / 100 mm	788 N / 100 mm
Bruchdehnung nach ASTM: D-3759	300 %	500 %	100 %
Temperaturbeständigkeit	- 35°C bis 110°C		

Weitere Klebeband-Merkmale*

- Der UHMW-Polyethylen-Träger hat einen sehr niedrigen Reibungswiderstand und eine hervorragende Beständigkeit gegen Abrieb, Verschleiß und Erosion, verursacht durch mechanische Beanspruchung. So ist auch eine gute Stich- und Schnittfestigkeit gegeben. Besonders 3M™ 5423 bietet einen guten Kerbschlagwiderstand.
- Es wird eine sehr gute Klebkraft auf den meisten glatten Oberflächen erzielt.
- 3M™ 5425 und 5423 lassen sich für Umrüstarbeiten leicht entfernen.
- 3M™ 5425 hat aufgrund des Acrylat-Klebstoffs eine sehr hohe Lösungsmittel- und Alterungsbeständigkeit.
- Der UHMW-Polyethylenträger ist selbstschmierend, so daß Schmiermittel mit oft nachteiligen Verschmutzungen wegfallen können.
- Die Bandstruktur verhindert ein Zusetzen durch nasse, klebrige und zähflüssige Materialien.
- 3M™ Gleitbänder tragen ebenfalls zur Geräuschdämpfung bei, beispielsweise beim Einsatz an Flaschenabfüllanlagen.

Lieferdaten

Rollenlänge	16,5 m
Rollenbreite	19,1 - 25,4 - 31,8 - 50,8 und 254,0 mm
Kerninnendurchmesser	76,2 mm
Formstansteil	auf Anfrage lieferbar

Zeichnungen

Schweißhalterung Ballführung oben

(Nennungsarten)	Krikkit 3	(Gü/Abw)	ISO-2768-m	(Oberfläche)	1:1	Preis	----
		Bohrh	-----	Name	-----	Material	-----
		Lehr	-----	Kollar	-----	Bestell-Abhang	-----
		Vert	-----		-----	Modul- zur- Ausführung	-----
						Bohrung	<input checked="" type="checkbox"/>
						Schweissvorr. Assembly	
						(Schweißarten)	0104-SV-01
						Blatt	A3
Zust	Änderungen	Datum	Name	(Urspr)		(Ersatz)	
							Bl

Prüfstandsauswertung

Auswertung der Prüfstandsdaten

Auswertung Schussversuche Ballhandling Modul

Aufnahmefrequenz: 4,8kHz	Auswertung mit VLC Player:
Bressel Filter: 600Hz variabel	1 Zeitschritt 0,0017 s
Auflösung Kamera: 300fps	Rasterbreite 0,0100 m

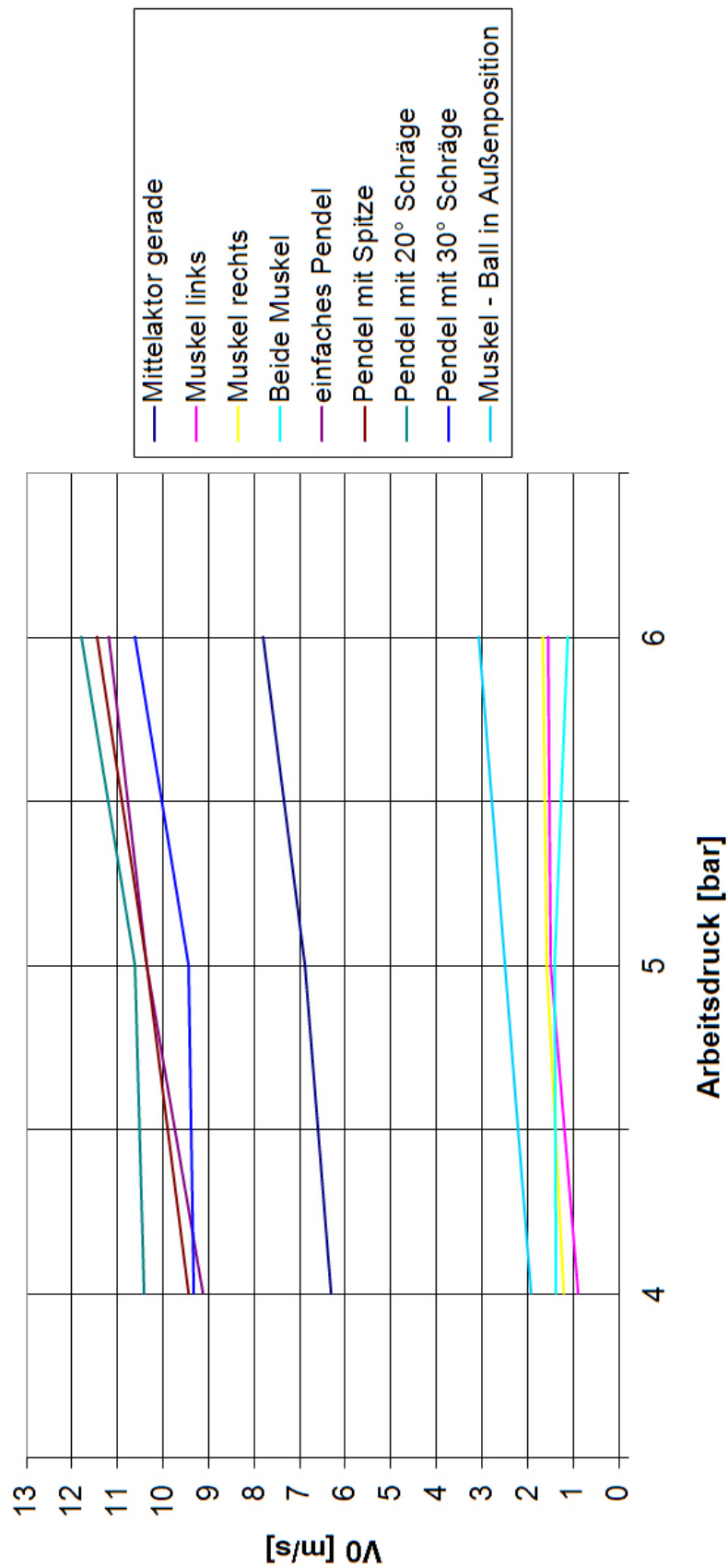
No. SERIE	Druck [V]	Druck Sensor [bar]	v0 horizontal [m/s]	v0 vertikal [m/s]	Abstand Ball/Kick element [mm]	Berührzeit Ball/Kick element [s]	maximale Eindringung Ball [mm]	Schussgüte Geschwindigkeit [1...5]	Schussgüte Höhe [1...5]	geschätzter Spin [°]	Absolutgeschwindigkeit [m/s]	Abschusswinkel Alpha	
1 1.1-A4	4,15	4,09	3,30	0,00	0,00	0,0667	20,00	5,00	0,00	0,00	0,00	3,30	0
2 1.1-M4	4,15	4,09	6,80	0,00	60,00	0,0200	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,80	0
3 1.1-E4	4,15	4,09	7,80	0,00	120,00	0,0183	30,00	2,00	0,00	0,00	0,00	7,80	0
4 1.1-A5	5,06	5,01	3,60	0,00	0,00	0,0617	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00	3,60	0
5 1.1-M5	5,06	5,01	7,80	0,00	60,00	0,0217	30,00	2,00	0,00	0,00	0,00	7,80	0
6 1.1-E5	5,06	5,01	8,40	0,00	120,00	0,0183	35,00	2,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0
7 1.1-A6	6,06	6,02	5,10	0,00	0,00	0,0550	25,00	4,00	0,00	0,00	0,00	5,10	0
8 1.1-M6	6,06	6,02	8,00	0,00	60,00	0,0250	35,00	2,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0
9 1.1-E6	6,06	6,02	9,50	0,00	120,00	0,0200	35,00	1,50	0,00	0,00	0,00	9,50	0
10 1.1-A7	7,05	7,02	4,80	0,00	0,00	0,0550	20,00	4,00	0,00	0,00	0,00	4,80	0
11 1.1-M7	7,05	7,02	9,20	0,00	60,00	0,0267	40,00	2,00	0,00	0,00	0,00	9,20	0
12 1.1-E7	7,05	7,02	9,60	0,00	120,00	0,0183	40,00	1,50	0,00	0,00	0,00	9,60	0
13 1.1-A8	8,06	8,04	5,70	0,00	0,00	0,0500	25,00	4,00	0,00	0,00	0,00	5,70	0
14 1.1-M8	8,06	8,04	9,20	0,00	60,00	0,0233	40,00	1,50	0,00	0,00	0,00	9,20	0
15 1.1-E8	8,06	8,04	9,60	0,00	120,00	0,0200	45,00	1,50	0,00	0,00	0,00	9,60	0
16 1.2-A4	4,09	4,03	4,80	0,00	0,00	0,0700	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	4,80	0
17 1.2-M4	4,09	4,03	7,00	0,00	60,00	0,0133	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0
18 1.2-E4	4,09	4,03	7,80	0,00	120,00	0,0117	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	7,80	0
19 1.2-A5	5,12	5,07	5,40	0,00	0,00	0,0633	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	5,40	0
20 1.2-M5	5,12	5,07	7,92	0,00	60,00	0,0117	5,00	3,00	0,00	0,00	0,00	7,92	0
21 1.2-E5	5,12	5,07	8,40	0,00	120,00	0,0117	5,00	3,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0
22 1.2-A6	6,12	6,08	6,00	0,00	0,00	0,0583	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0
23 1.2-M6	6,12	6,08	8,50	0,00	60,00	0,0117	5,00	2,00	0,00	0,00	0,00	8,50	0
24 1.2-E6	6,12	6,08	9,00	0,00	120,00	0,0117	10,00	2,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0
25 1.2-A7	7,09	7,06	6,30	0,00	0,00	0,0517	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,30	0

26	1.2-M7	7,09	7,06	9,90	0,00	60,00	0,0117	8,00	1,00	0,00	0,00	0,00	9,90	0
27	1.2-E7	7,09	7,06	9,60	0,00	120,00	0,0117	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	9,60	0
28	1.2-A8	8,07	8,05	7,60	0,00	0,00	0,0500	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	7,60	0
29	1.2-M8	8,07	8,05	10,20	0,00	60,00	0,0100	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	10,20	0
30	1.2-E8	8,07	8,05	11,00	0,00	120,00	0,0100	10,00	1,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0
31	1.3-A4	4,10	4,04	4,50	0,00	0,00	0,0667	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0
32	1.3-M4	4,10	4,04	6,00	0,00	60,00	0,0167	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0
33	1.3-E4	4,10	4,04	6,90	0,00	120,00	0,0117	5,00	3,00	0,00	0,00	0,00	6,90	0
34	1.3-A5	4,98	4,93	5,40	0,00	0,00	0,0667	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	5,40	0
35	1.3-M5	4,98	4,93	6,60	0,00	60,00	0,0100	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,60	0
36	1.3-E5	4,98	4,93	7,80	0,00	120,00	0,0100	2,00	3,00	0,00	0,00	0,00	7,80	0
37	1.3-A6	6,06	6,02	6,00	0,00	0,00	0,0617	2,00	5,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0
38	1.3-M6	6,06	6,02	7,20	0,00	60,00	0,0100	5,00	3,50	0,00	0,00	0,00	7,20	0
39	1.3-E6	6,06	6,02	8,10	0,00	120,00	0,0133	10,00	2,00	0,00	0,00	0,00	8,10	0
40	1.3-A7	7,12	7,09	6,60	0,00	0,00	0,0517	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,60	0
41	1.3-M7	7,12	7,09	8,10	0,00	60,00	0,0117	5,00	2,50	0,00	0,00	0,00	8,10	0
42	1.3-E7	7,12	7,09	8,80	0,00	120,00	0,0117	10,00	1,50	0,00	0,00	0,00	8,80	0
43	1.3-A8	8,08	8,06	6,40	0,00	0,00	0,0517	2,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,40	0
44	1.3-M8	8,08	8,06	9,20	0,00	60,00	0,0167	15,00	1,50	0,00	0,00	0,00	9,20	0
45	1.3-E8	8,08	8,06	10,80	0,00	120,00	0,0100	5,00	1,00	0,00	0,00	0,00	10,80	0
46	1.4-A4	4,09	4,03	4,50	0,00	0,00	0,0783	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0
47	1.4-M4	4,09	4,03	6,40	0,00	60,00	0,0533	5,00	4,00	0,00	0,00	10,00	6,40	0
48	1.4-E4	4,09	4,03	3,00	0,00	100,00	0,0533	5,00	6,00	0,00	0,00	30,00	3,00	0
49	1.4-A5	5,02	4,97	5,60	0,00	0,00	0,0683	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	5,60	0
50	1.4-M5	5,02	4,97	8,00	0,00	60,00	0,0400	5,00	2,50	0,00	0,00	15,00	8,00	0
51	1.4-E5	5,02	4,97	7,80	0,00	100,00	0,0500	5,00	3,00	0,00	0,00	30,00	7,80	0
52	1.4-A6	6,05	6,01	6,00	0,00	0,00	0,0600	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0
53	1.4-M6	6,05	6,01	8,40	0,00	60,00	0,0350	5,00	2,50	0,00	0,00	15,00	8,40	0
54	1.4-E6	6,05	6,01	8,80	0,00	100,00	0,0467	5,00	2,50	0,00	0,00	30,00	8,80	0
55	1.4-A7	7,05	7,02	6,80	0,00	0,00	0,0567	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	6,80	0
56	1.4-M7	7,05	7,02	9,60	0,00	60,00	0,0383	0,00	2,00	0,00	0,00	20,00	9,60	0
57	1.4-E7	7,05	7,02	4,80	0,00	100,00	0,0500	0,00	4,00	0,00	0,00	30,00	4,80	0
58	1.4-A8	8,07	8,05	7,20	0,00	0,00	0,0500	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	7,20	0
59	1.4-M8	8,07	8,05	9,86	0,00	60,00	0,0267	5,00	2,00	0,00	0,00	15,00	9,86	0
60	1.4-E8	8,07	8,05	4,80	0,00	100,00	0,0467	0,00	4,00	0,00	0,00	30,00	4,80	0
61	1.5-A4	4,08	4,02	8,40	1,20	0,00	0,0150	5,00	3,00	5,00	0,00	0,00	8,49	8,130102

62 1.5-M4	4,08	4,02	5,40	0,90	30,00	0,0083	5,00	4,00	5,00	0,00	5,47	9,462322
63 1.5-E4	4,08	4,02	3,90	0,00	80,00	0,0100	10,00	5,00	5,00	0,00	3,90	0
64 1.5-A5	5,11	5,06	10,20	0,60	0,00	0,0133	5,00	2,00	5,00	0,00	10,22	3,366461
65 1.5-M5	5,11	5,06	8,80	2,00	30,00	0,0150	10,00	3,00	4,50	0,00	9,02	12,80427
66 1.5-E5	5,11	5,06	4,20	0,00	80,00	0,0100	10,00	5,00	5,00	0,00	4,20	0
67 1.5-A6	6,05	6,01	11,10	1,50	0,00	0,0100	5,00	1,50	5,00	0,00	11,20	7,696052
68 1.5-M6	6,05	6,01	10,20	2,10	30,00	0,0150	10,00	1,50	4,50	0,00	10,41	11,63363
69 1.5-E6	6,05	6,01	4,80	0,00	80,00	0,0117	15,00	5,00	5,00	0,00	4,80	0
70 1.5-A7	7,10	7,07	11,60	3,20	0,00	0,0117	15,00	1,00	3,00	0,00	12,03	15,42216
71 1.5-M7	7,10	7,07	9,60	2,10	30,00	0,0133	15,00	2,50	4,00	0,00	9,83	12,33909
72 1.5-E7	7,10	7,07	5,10	0,00	80,00	0,0117	20,00	5,00	5,00	0,00	5,10	0
73 1.5-A8	8,05	8,03	12,40	4,40	0,00	0,0150	30,00	1,00	3,00	0,00	13,16	19,53665
74 1.5-M8	8,05	8,03	10,80	2,40	30,00	0,0150	30,00	1,00	2,50	0,00	11,06	12,52881
75 1.5-E8	8,05	8,03	5,10	0,00	80,00	0,0117	30,00	5,00	5,00	0,00	5,10	0
76 1.6-A4	4,07	4,01	8,40	2,40	0,00	0,0250	5,00	3,00	3,00	0,00	8,74	15,9454
77 1.6-M4	4,07	4,01	6,90	3,90	30,00	0,0083	15,00	4,00	2,00	0,00	7,93	29,47589
78 1.6-E4	4,07	4,01	5,70	3,30	80,00	0,0083	15,00	4,00	4,00	0,00	6,59	30,06858
79 1.6-A5	5,10	5,05	9,90	3,00	0,00	0,0100	10,00	2,50	3,00	0,00	10,34	16,8584
80 1.6-M5	5,10	5,05	7,20	3,60	30,00	0,0083	10,00	2,50	1,50	0,00	8,05	26,56505
81 1.6-E5	5,10	5,05	6,90	3,30	80,00	0,0100	15,00	3,00	3,00	0,00	7,65	25,55997
82 1.6-A6	6,02	5,98	10,80	3,60	0,00	0,0250	15,00	1,50	2,50	0,00	11,38	18,43495
83 1.6-M6	6,02	5,98	8,10	3,60	30,00	0,0067	15,00	1,50	1,50	0,00	8,86	23,96249
84 1.6-E6	6,02	5,98	6,90	3,60	80,00	0,0100	20,00	3,00	3,00	0,00	7,78	27,55281
85 1.6-A7	7,02	6,99	10,80	3,60	0,00	0,0117	15,00	1,50	2,50	0,00	11,38	18,43495
86 1.6-M7	7,02	6,99	8,10	3,30	30,00	0,0083	15,00	1,50	2,00	0,00	8,75	22,16635
87 1.6-E7	7,02	6,99	7,80	3,90	80,00	0,0100	20,00	2,00	1,50	0,00	8,72	26,56505
88 1.6-A8	8,07	8,05	12,50	4,50	0,00	0,0217	10,00	1,00	2,50	0,00	13,29	19,79888
89 1.6-M8	8,07	8,05	9,00	3,60	30,00	0,0083	15,00	2,50	2,50	0,00	9,69	21,80141
90 1.6-E8	8,07	8,05	8,40	4,50	80,00	0,0100	30,00	2,50	1,50	0,00	9,53	28,17859
91 1.7-A4	4,08	4,02	7,00	4,00	0,00	0,0650	5,00	3,50	2,00	0,00	8,06	29,74488
92 1.7-M4	4,08	4,02	7,50	1,50	0,00	0,0183	5,00	3,50	4,50	0,00	7,65	11,30993
93 1.7-E4	4,08	4,02	8,00	4,40	0,00	0,0133	10,00	2,50	1,50	0,00	9,13	28,81079
94 1.7-A5	5,03	4,98	7,80	5,40	0,00	0,0633	5,00	5,00	1,50	0,00	9,49	34,69515
95 1.7-M5	5,03	4,98	7,20	1,20	0,00	0,0133	5,00	3,50	5,00	0,00	7,30	9,462322
96 1.7-E5	5,03	4,98	8,80	5,60	0,00	0,0150	15,00	2,00	1,50	0,00	10,43	32,47119
97 1.7-A6	6,03	5,99	8,40	4,80	0,00	0,0600	5,00	2,50	1,50	0,00	9,67	29,74488

98 1.7-M6	6,03	5,99	8,40	1,60	0,0117	8,00	4,00	5,00	0,00	8,55	10,7843
99 1.7-E6	6,03	5,99	10,40	6,80	0,0167	10,00	1,50	1,00	0,00	12,43	33,17851
100 1.7-A7	7,03	7,00	9,00	6,75	0,0600	10,00	2,00	1,50	0,00	11,25	36,8699
101 1.7-M7	7,03	7,00	8,80	0,00	0,0117	8,00	4,00	5,00	0,00	8,80	0
102 1.7-E7	7,03	7,00	10,94	6,35	0,0133	10,00	1,00	1,00	0,00	12,65	30,14139
103 1.7-A8	8,06	8,04	8,25	7,50	0,0583	5,00	2,00	1,50	0,00	11,15	42,27369
104 1.7-M8	8,06	8,04	9,30	0,60	0,0133	10,00	3,50	5,00	0,00	9,32	3,691386
105 1.7-E8	8,06	8,04	11,50	8,00	0,0167	15,00	1,00	1,00	0,00	14,01	34,82449

Abschussgeschwindigkeit Modul



Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Extended Abstract Austrian Robotics Workshop Hall/Tirol 23.05.2011

The application of pneumatic actuators in RoboCup's Middle Size League

Michael Kollar¹, Michael Bader², Harald Altinger^{1*}

¹Mostly Harmless RoboCup Team,
Graz University of Technology, 8020 Graz, Austria
michael.kollar@tugraz.at, harald.altinger@tugraz.at

²Institute of Machine Components and Development Methods,
Graz University of Technology, 8010 Graz, Austria
michael.bader@tugraz.at

1 Introduction

A constantly reoccurring issue within the design of a new Middle-Size robot is the conception and development of a powerful kicking mechanism. Different shooting directions, weight and controllability of the device are crucial for a profound, sustainable solution. Engineers tend to incorporate previous approaches and their own technical background into this process of decision making. This leads to a non-optimal weighting of boundary conditions and ends in the dismissal of eventually revolutionary approaches. Due to this issue it is essential not only to compare relevant data, but also maintain a well structured view on the given task following the top down approach of information processing. Topics like interdisciplinary thinking, safety considerations and most of all well-defined targets play an important part in decision making. This paper gives an insight into the reasons for the team's decision to introduce a pneumatic solution to the kicking device of their new generation of Middle-Size robots.

2 Boundary Conditions and Design

The design of the new generation robot is based on modularity. This enhances maintenance and enable the robot to be easily equipped with other service modules, to not only being limited to soccer-based applications. This leads to a number of boundary conditions:

- the module has to fit into the frame construction and cause as little stress on the robot as possible
- all energy necessary except electrical power has to be stored on the kicking module
- high and flat kicking in the widest vertical and horizontal range
- kicking and passing

An important factor and basic criterion is the proper choice of actuators. They have to be light-weighted, fast moving, easy to operate, reliable, affordable, safe to handle, small and powerful. Subsequently the different possible solutions shall be presented and compared

using a weight matrix, see [1]. In order to compare the different ideas in terms of kicking velocity and energy consumption a basic reference value has to be stated.

In reality the kick can be described as a partially elastic collision between the hatch and the ball. It is very hard to estimate both friction coefficients and the compression of the ball. An idealized system is chosen to calculate the necessary boundary conditions, see [2]. Keeping in mind that a kicking velocity of 10m/s is needed, this leads to a necessary kicking force of approximately 450N and a total energy needed of 225J.

3 Design Approaches

In order to find the best suiting solution for our kicking mechanism, four different approaches were compared. The first idea deducted from the desire to have a safe, cheap and most importantly easy to handle module. An all mechanical kicking device turned out to be heavy, full of actuators and therefore too large. The flywheel system is able to store mechanical energy and reduces the amount of electrical energy that facilitates the use of smaller and cheaper batteries, see [3]. The advantages of a flywheel are the independence from temperature and a high efficiency of energy storage, see [4]. The flywheel concept requires to incorporate not only a clutch but also two different types of transmission to achieve an adjustable kicking speed. Another important issue is the effects of precession on the main robot structure caused by the flywheel, see [5]. In order to reduce the number of actuators, an electrical coil with an iron plunger was evaluated. A lot of RoboCup teams currently work with electrical solutions for their kicking devices. But due to the high weight and safety considerations Mostly Harmless decided not to follow this path. Finally the concept of a pneumatic kicking device was developed. It offers a lot of different options on how to incorporate the actuators into the kicking mechanisms. It is a safe, cheap and a well-controllable solution. In order to make the concept of a standard pneumatic cylinder even more useful we introduce so-called fluidic muscles to the system, see [6]. The outstanding feature of the muscle is its output of force. The muscle is able to generate the same force as a comparable cylinder with only a tenth of the required space and, due to its logarithmic characteristic of force over percentage of stroke, the impact at the end of the actuator's movement is minimized. Another important reason why Mostly Harmless decided to use pneumatic solutions for the kicking device is the interdisciplinary aspect of the RoboCup Middle Size. Mostly Harmless is convinced that it is a core competence to have mechanical, electrical and software engineers work closely together in order to achieve faster development and concerted solutions through continuous communication, exchange of ideas and mutual help.

4 Comparison and Conclusion

The implementation of a pneumatic kicking mechanism enables us to meet all given internal and external requirements in terms of weight, space, effort to generate kicking force, number of assisting actuators (main actuators not included), safety, time between shots, controlling costs and the interdisciplinary aspect.

References

- [1] A. Gadatsch, *Methoden und Arbeitstechniken*. Vieweg und Teubner, 2008.
- [2] F. Berger, *Das Gesetz des Kraftverlaufs beim Stoss*. Vieweg Verlag, 1924.
- [3] P. Hofmann, *Hybridfahrzeuge*. Springer Wien NewYork, 2010.
- [4] F. J.-c. TANG Ji-qiang, LIU Gang, “Superconducting energy storage flywheel - an attractive technology for storages,” *Journal of Changhai Jiaotang University*, vol. 15, pp. 76–83, 2010.
- [5] J. Eichler, *Physik, Grundlagen für das Ingenieursstudium*. Vieweg Verlag, 2007.
- [6] FESTO, *Fluidic Muscle DMSP/MAS Product Manual, page 12*, 2010.

Pressepiegel



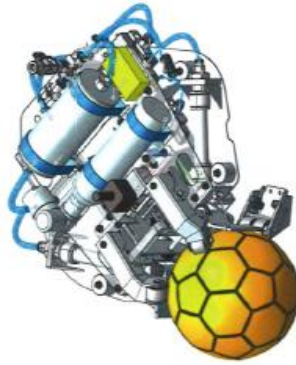
manus[®]

2 1 3

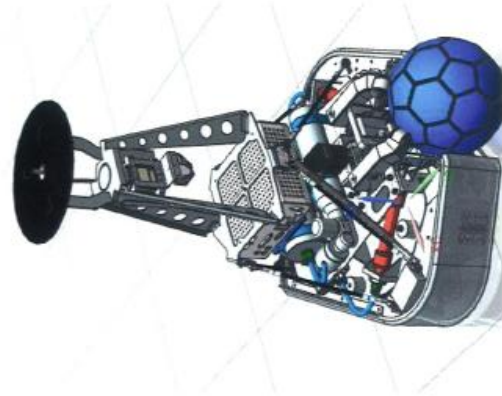
€ 5.000,-

5. Wettbewerb für spannende Kunststoff-Gleitlager-Anwendungen
5th competition for exciting plastic plain bearing applications

2011



Technische Universität Graz, RoboCup Team
Mostly Harmless, Norbert Rath, Graz, Austria
Fußball-Roboter
Soccer robot



www.manus-wettbewerb.de

214



Mostly Harmless RoboCup Team TU Graz



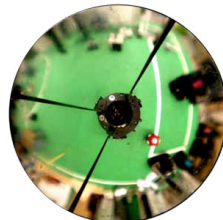
Interdisziplinarität entsteht bei der Überschneidung mehrerer Fachbereiche. Für Beteiligte bietet sich in sich einem Fall die Möglichkeit, sich flächübergreifend zu bilden und die eigenen Fähigkeiten zu vertiefen bzw. zu verbessern. Für Teamgeistiger, und/jene die es noch werden wollen, bietet das

Mostly Harmless RoboCup Team an der Technischen Universität Graz die hervorragende Gelegenheit sich in den verschiedensten Teilbereichen der Roboterkonzeption zu beteiligen. Dabei kann sich der Einzelne mit jeder Aufgabe neues und vor allem praxisnahes Wissen aneignen.



Stefan Falk
Technische Universität Graz
Informantik

Worum geht es eigentlich? Das Team tritt gemeinsam bei den jährlichen RoboCup Europa- und Weltmeisterschaften an. Dabei treten über 30 unterschiedliche Teams aus aller Welt an. Das Mostly Harmless RoboCup Team der TU Graz tritt dabei in der „Middle Size League“, der Königsklasse des RoboCups an. In dieser Liga spielen die Roboter mit einem FIFA Ball nach dem offiziellen FIFA-Regelwerk, Fußball. Hierfür gibt es nur wenige Vorgaben. Die einzelnen Roboter-Spieler sind die Größe von 25x25x30cm (LxBxH) und wiegen maximal 40kg wiegen. Sensoren und Entscheidungsalgorithmen müssen diese an Board haben. Daraus folgt, dass die Roboter ihre Entscheidungen vollständig autonom und ohne weiteres menschliches Eingreifen treffen müssen. Die Roboter dürfen zwar untereinander kommunizieren, jedoch ist die originale Übertragungsbreite sehr gering. Das Team muss die Aufgabe lösen, einen Ball (40g) in das digitale Entscheidungsglogik zu steuern. Dieses kann autonom und ohne weiteres menschliches Eingreifen treffen müssen. Die Roboter dürfen zwar untereinander kommunizieren, jedoch ist die originale Übertragungsbreite sehr gering.



Omnivision: Das Webbild eines MH-Roboters

Herausforderungen und Fortbildungsmöglichkeiten

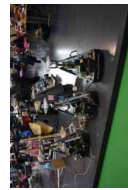
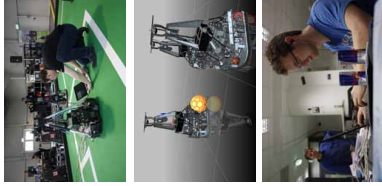
Die Vorstellung eines Roboters, der in der Lage ist, nach gewissen Regeln Fußball zu spielen, ist mit Sicherheit

ein erster Schritt in die Richtung einer funktionalen Maschine. Doch was muss dabei beachtet werden? Was für Fähigkeiten muss sie haben und wie sollen diese umgesetzt werden? Mit einem paar oberflächlichen Überlegungen wird wahrscheinlich jeder zu dem Schluss kommen, dass dies eine sehr schwierige Aufgabe ist. Die meisten Roboter-Spieler werden sich überfordert fühlen, und erst durch ihre eigenen Erfahrungen können sie das Spiel richtig meistern. Dies ist jedoch nur die Oberfläche der Sache. Die Kamera liefert ein Bild an das digitale Board. Daraus folgt, dass die Roboter ihre Entscheidungen vollständig autonom und ohne weiteres menschliches Eingreifen treffen müssen. Die Roboter dürfen zwar untereinander kommunizieren, jedoch ist die originale Übertragungsbreite sehr gering.



Ein zentraler Job: Selbstaufbau und -wartung

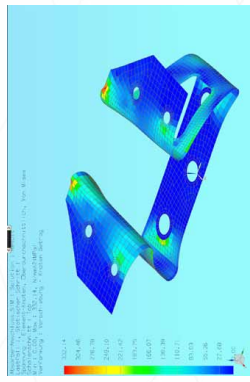
Die Vorstellung eines Roboters, der in der Lage ist, nach gewissen Regeln Fußball zu spielen, ist mit Sicherheit



der neuen Generation von Robotern genähert. Diese sollen, im Vergleich zu ihren Vorgängern, an einigen Stellen verbessert und sogar erweitert werden. Die Neuerungen werden einen Roboter flexibler und leichter wartbar machen. Für begeisterte Enthusiaster werden die Möglichkeiten zur Vertiefung des „Oh Just For Fun“ für ein BSc-Projekt, ein Masterstudium oder für eine Diplomarbeit. Das MH-RoboCup Team teilt jeden aus den Bereichen Elektronik, Regelungstechnik, Softwareentwicklung, Maschinenbau, Projektmanagement und Public Relations gerne willkommen.

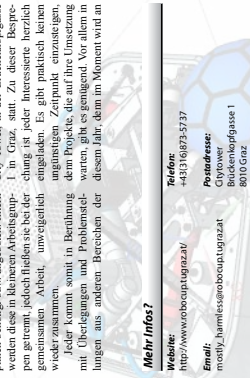
Technik. Auf diese Weise wird das Grundverständnis der einzelnen Mitglieder, durch den gegenseitigen Austausch von Wissen, enorm erweitert. Einreichlich, dass dabei gleichzeitig ein familiäres Umfeld und angenehmes Arbeitsklima entsteht.

Die Möglichkeiten mitzuarbeiten
Oh genügend Interesse vorhanden ist oder nicht, vorbeischaun kann man während des Semesters immer, um sich von der Mitarbeit überzeugen zu lassen. Jeden Montag um 18 Uhr findet das wöchentliche Besprechung im City Tower, in der Druckkopfplage einen benötigten Diskussionspunkt, wenn es um die wöchentliche Besprechung im City Tower, in der Druckkopfplage geht. Jeder, der an der Besprechung teilnehmen möchte, ist herzlich eingeladen. Es gibt praktische Kenntnisse, die durch die Teilnahme an dem Projekt, die auf ihre Umsetzung mit Überlegungen und Problemlösungen aus anderen Bereichen der gemeinsamen Arbeit, unvergesslich wieder zusammengeführt werden können. Jeder kommt somit in Berührung mit Überlegungen und Problemlösungen aus anderen Bereichen der gemeinsamen Arbeit, unvergesslich wieder zusammengeführt werden können.



Absorbierenschluss: Gegen Beschädigungen bei Zusammenstoßen werden eigene Dämpfer konstruiert, die einsetzende Kräfte aufnehmen sollen.

Technik. Auf diese Weise wird das Grundverständnis der einzelnen Mitglieder, durch den gegenseitigen Austausch von Wissen, enorm erweitert. Einreichlich, dass dabei gleichzeitig ein familiäres Umfeld und angenehmes Arbeitsklima entsteht.



Absorbierenschluss: Gegen Beschädigungen bei Zusammenstoßen werden eigene Dämpfer konstruiert, die einsetzende Kräfte aufnehmen sollen.



Absorbierenschluss: Gegen Beschädigungen bei Zusammenstoßen werden eigene Dämpfer konstruiert, die einsetzende Kräfte aufnehmen sollen.

Technik

Technik

Education

NX®

Konstruktive Überlegenheit auf dem Spielfeld

Konstruktion und Finite-Elemente-Analyse mit NX führt Forscher aus Graz zu Erfolgen in der Middle Size Fußball-Liga für autonome Roboter

TU GRAZ MOSTLY HARMLESS ROBOCUP TEAM

Herausforderungen

- Enge Vorgaben durch Reglement
- Nicht verschiebbare Fertigstellungstermine
- Knappes Budget
- Komplexe mechanische Systeme
- Kombination mit Elektronik und Pneumatik
- Schläge und Vibrationen
- Wechselnde Team-Mitarbeiter

Erfolgsfaktoren

- Rasche Redesigns
- Festigkeitssimulation
- Dynamische Mehrkörpersimulation
- Schnelle Einarbeitung
- Kontinuierlicher Wissensaufbau

Ergebnisse

- Effizienzsteigerung in der Konstruktion
- Verlässliche Festigkeitsdaten
- Verminderter Prototypenbedarf
- Budgetoptimierung

Weltklasse-Kicker aus dem Grazer TU-Forschungslabor

Wohldefinierte, leicht zu kommunizierende Regeln einerseits und hohe Freiheitsgrade für autonome Roboter andererseits sind Kriterien, die in einer Testumgebung für künstliche Intelligenz und Robotik vorhanden sein müssen. Vor allem muss sie veränderliche, realitätsnahe Bedingungen und den Einfluss anderer Mitspieler bieten. Fußball erfüllt diese Bedingungen und ist noch dazu publikumswirksam, weshalb in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts als Versuchsfeld für Forschung, Entwicklung und universitäre Ausbildung die internationale Lehr- und Forschungsinitiative RoboCup geboren wurde.



Middle Size Roboter des TU Graz Mostly Harmless RoboCup Team spielen autonom Fußball, noch gegen andere Roboter, bald vielleicht auch gegen Menschen

Gespielt wird streng nach FIFA-Regeln in unterschiedlichen Kategorien – Humanoid, Middle Size, Simulation, Small Size und Standard Platform. Fußball spielen ist dabei natürlich nur Mittel zum Zweck: Ziel ist die Entwicklung von Methoden, mit denen autonome Roboter in anderen Einsatzbereichen auf Basis ihrer Beobachtungen in kurzer Zeit die richtigen Entscheidungen treffen können. Noch spielen bei den Wettbewerben Roboter gegen Roboter. Um der Forschungstätigkeit eine Art vorgezeichneter Entwicklungsachse zu verleihen, wurde jedoch bereits eine vollmundige Herausforderung ausgesprochen: Im Jahr 2050 soll eine Gruppe Roboter gegen den dann regierenden Weltmeister im Humanfussball antreten.

Passenderweise ist „Don't Panic“ das Motto des von Harald Altinger geleiteten „Mostly Harmless RoboCup Team“. Die interdisziplinäre Projektgruppe der Technischen Universität Graz spielt seit 2003 in der Middlesize Liga, bei der pro Seite sechs Roboter mit etwa 50 cm Breite und 80 cm Höhe stehen. Mit omnidirektionalem Rollen-antrieb bewegen sie sich über den Hartplatz und sind vollautonom. Das heißt, von der Stromversorgung bis zur Druckluftflasche für den Kickmechanismus ist alles an Bord. Von außen kommen lediglich die Kommandos des Schiedsrichters.

NX

www.siemens.com/plm

SIEMENS



“Der Umstieg auf NX brachte eine deutliche Reduktion der Durchlaufzeiten pro Entwicklungsschritt. Das unkomplizierte Handling der Software kommt unserer Teamstruktur mit hoher Fluktuation entgegen.”

Norbert Rath
 Maschinenbau-Leiter
 TU Graz Mostly Harmless
 RoboCup Team

Herausforderung für 15 Institute

2003 hatte die TU unter der Leitung von Dr. Dipl.-Ing. Gerald Steinbauer vom Institut für Softwaretechnologie erstmals ein Team zur WM geschickt. Das aus 10 bis 15 Mitgliedern bestehende Team vereinigt die unterschiedlichen Kulturen der einzelnen Fachbereiche. Maschinenbau, Hardware und Software arbeiten einander zu und müssen einander im Hinblick auf das Ergebnis verstehen und eng kooperieren. Und die Teilnahme an den RoboCup-Bewerben mit den zeitkritischen Projektschritten davor und den zwei Wochen in der Gruppe vor Ort ist ein nicht zu ersetzender Realitätstest für die Studierenden.

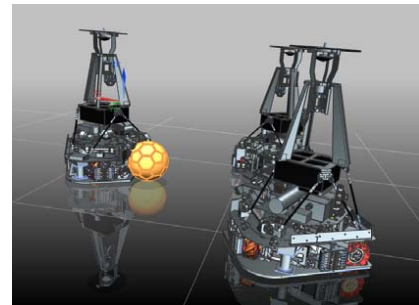
„Bei den German Open 2011 in Magdeburg erzielten unsere 2006 gebauten Kicker den 4. Gesamtrang in der Middle Size Liga“, sagt Michael Kollar, Sprecher des Mostly Harmless RoboCup Team. Für ihn ist diese Liga die Königsklasse im Roboterfußball, da sie von allen die größte maschinenbauliche Komplexität aufweist. „Etwas mehr als ein Jahr davor hatten wir die Entscheidung getroffen, eine neue dritte Generation zu entwickeln. Diese wurde in Magdeburg erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt.“

Modulares Design aus voll-virtueller Konstruktion

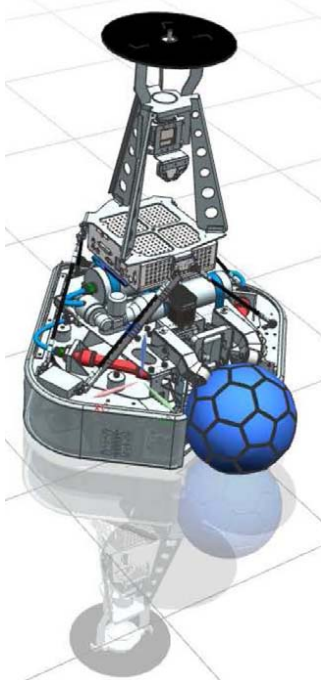
War die Generation 2 noch als starre Einheit konzipiert gewesen, entschlossen sich die Forscher zu einem modularen Aufbau der dritten Robotergeneration. Die omnidirektional mobile Plattform wird damit zum reinen Laufwerk und Träger aller anderen Systeme. Diese – etwa der Ballführungs- und Schussmechanismus – können als ganze Einheiten unaufwändig an- und abgebaut und durch Weiterentwicklungen ersetzt werden, ohne in das Gesamte einzugreifen. So zum Beispiel die Baugruppe für die Ballführung, bei der die Mostly Harmless RoboCup Gruppe als eines von nur wenigen Teams an der Pneumatik für die Ballführung festhält.

Um die Neugestaltung der Krikkit 3G Roboter anzugehen, musste die mechanische Konstruktion auf neue Beine gestellt werden. „Die älteren Roboter-Generationen waren in einer Mischung von echter 3D CAD-Konstruktion und Handzeichnung entstanden“, weiß Norbert Rath, Maschinenbau-Leiter der Gruppe. „Dazu war ein innerhalb der TU Graz weit verbreitetes, zu parametrischer Arbeitsweise zwingendes und äußerst unhandliches CAD-System verwendet worden.“ Dieses Werkzeug wies gewisse Mängel bei der Zeichnungsableitung auf. Vor allem aber konnte damit die Arbeit wegen seiner hoher Anwendungskomplexität nicht ohne einen enormen Schulungs- und Einarbeitungsaufwand aufgenommen werden. In der RoboCup Gruppe ist jedoch naturgemäß ein häufiger personeller Wechsel die Regel. Deshalb suchten die Wissenschaftler eine Alternative, die einerseits die hohe funktionale

NX®

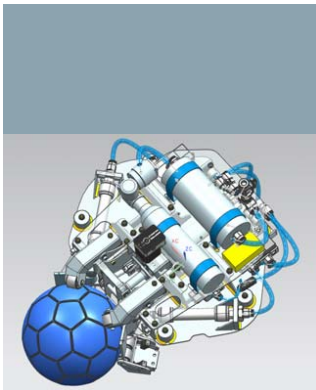


Mit 520 x 520 mm Grundfläche, 800 mm Höhe und bis 40 kg Masse reglementiert, bewegen sich die Roboter mit bis zu 3,6 m/s über das Spielfeld.



Den vierten Platz erzielte das TU Graz Mostly Harmless RoboCup Team beim German Open in Magdeburg vom 31. März bis 03. April 2011.

Komplexität abzudecken in der Lage ist, andererseits mit geringem Schulungsbedarf leicht zu erlernen und mit der Möglichkeit, die Gesamtaufgabe so zu verteilen, dass viele „Mitspieler“ ohne viel Abstimmungsaufwand an der Gesamtaufgabe mitwirken können. Deshalb schaffte das Mostly Harmless RoboCup Team zur Jahreswende 2008/09 NX von Siemens PLM Software an.



Die Ballführung als 3D-Modell in NX und als reale Baugruppe. Sie demonstriert den modularen Aufbau der Krikkit-3 Roboter.



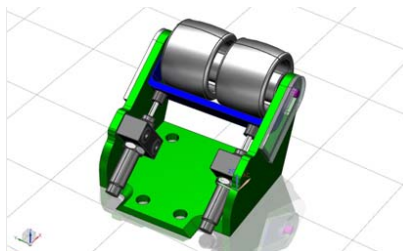
Komplexität braucht Mächtigkeit

Gegen eines der an Schulen und Universitäten noch populäreren „kleinen“ Systeme sprach die größere Mächtigkeit von NX, unter anderem durch die Verfügbarkeit voll integrierter Zusatzmodule wie die Finite Elemente Analyse. „Diese ist bei NX einerseits völlig transparent in das Gesamtpaket integriert, im Gegensatz zu Paketen anderer Hersteller erlaubt uns die Software andererseits, das Modell individuell zu erstellen und anzupassen“, sagt Norbert Rath. „Das ist wichtig, um innerhalb der selben Objekte strukturelle Untersuchungen mit unterschiedlichen Genauigkeitsgraden anzustellen.“

Durch die unverhältnismäßig große Agilität der Roboter mit selbst konstruierten Omni-Wheels in Kombination mit dem in Relation zur Grundfläche recht hohen Aufbau kommt es zu teils erheblichen Schwingungen. Diese verzerren das Bild aus dem ganz oben an der Spitze des Kegels angebrachten visuellen Erkennungssystem und sind daher hochgradig unerwünscht. „Die NX Kinematik-Tools erlauben eine umfassende dynamische Mehrkörpersimulation, die ich in dieser Form von keiner anderen CAD-Software kenne“, lobt Norbert Rath. „Damit konnten wir beispielsweise die von den Rädern des Laufwerks beeinflusste Schwingungsausbreitung nachvollziehen und in weiterer Folge wegoptimieren.“

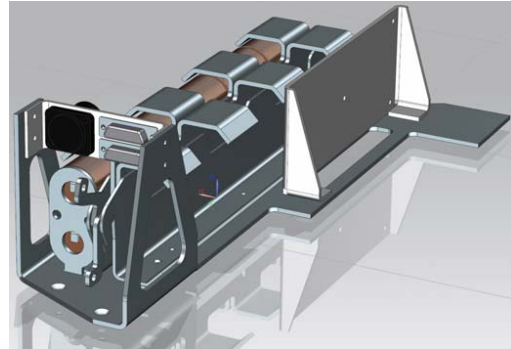
Datenintegration erleichtert Teamarbeit

Allein die Einheitlichkeit und Konsistenz der Daten erleichtert die Arbeit in unseren wechselnden Teams erheblich. Mit den früher eingesetzten Werkzeugen mussten Step-Dateien erzeugt und mittels anschließendem Re-Import aus den unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden. Zudem waren für verschiedene Teilaufgaben Programme mehrerer Hersteller im Einsatz gewesen, die alle eine spezifische Datenaufbereitung verlangten. „Allein die Aufbereitung der Daten des zugegebenermaßen komplexen Ballführungsmoduls zur anschließenden Weiterverarbeitung hielt mich mit der alten Methode eine ganze Woche lang beschäftigt“, berichtet Michael Kollar. „Dem gegenüber beschränkt sich die Arbeit innerhalb der NX-Umgebung auf maximal einen Tag.“

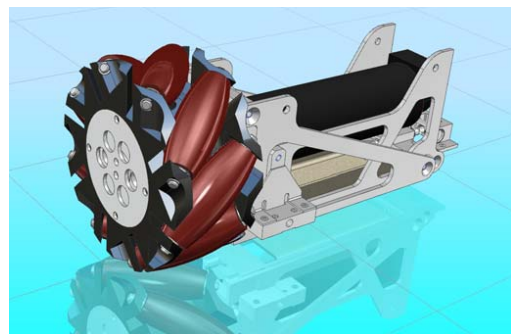


Der unmittelbare Bezug zur Realität bleibt stets erhalten, kostensparende Designänderungen können rascher erfolgen als zuvor.

NX®



Oben: 3D-Modell des Akkuträgers
Unten: Antriebseinheit mit Omni-Wheels



Education

Lösungen/Services

NX

www.siemens.com/PLM

Hauptgeschäft des Kunden

Das TU Graz Mostly Harmless RoboCup Team forscht an autonomen Robotern, die es zur Gänze selbst entwickelt.

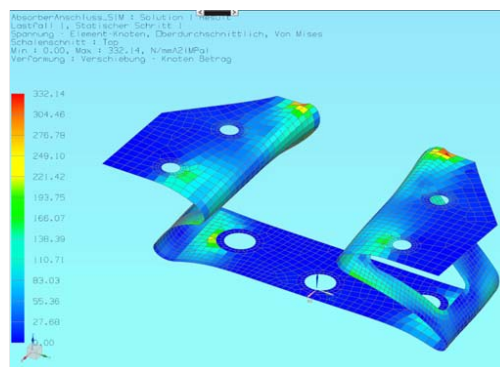
www.robocup.tugraz.at

Kundenstandort

Graz, Österreich

NX®

„Noch krasser ist das Verhältnis im Fall der Festigkeitssimulation“, ergänzt Norbert Rath. Die wurde in Zeiten der früheren Ausstattung normalerweise nur grob näherungsweise per Hand ermittelt, da die Durchführung einer vollständigen Finite Elemente Berechnung zeitlich nicht in Frage gekommen wäre. „Das war ausgesprochen unbefriedigend, denn oft müssen strukturelle Elemente optimiert werden, um das Gewichtslimit nicht zu überschreiten“, erläutert er die Notwendigkeit der Simulation. „Heute überprüfen wir ganz selbstverständlich jeden Optimierungsschritt zeitnah und ohne Wechsel der Arbeitsumgebung mit einer umfassenden Festigkeitssimulation mittels Finite Elemente Analyse.“



Finite Elemente Analyse des Absorberanschlusses

Ebenfalls sehr zeitsparend ist die Fertigungsüberleitung. Die Daten werden kooperierenden Instituten und unterstützenden Firmen in Form von dxf-Dateien zur Verfügung gestellt. „Für eine Baugruppe mit 500 Teilen ist dieser Datenexport mit allen Vorbereitungen und Kontrollen in weniger als einem halben Tag zu erledigen“, freut sich Michael Kollar.



Mit dem unkompliziertem Handling von NX beherrschen die Studierenden die Komplexität der Konstruktion und optimieren die Herstellungskosten

Budgetoptimierung dank NX

Neben den funktionalen Vorteilen von NX als umfassende Lösung für die mechanischen Konstruktion spielen in chronisch unterdotierten Forschungs- und Ausbildungseinrichtungen wie der TU Graz natürlich auch budgetäre Überlegungen eine nicht zu unterschätzende Rolle. „Auch in dieser Hinsicht hilft uns NX, da mit diesem Werkzeug die Bindungen und Relationen der Teile zueinander bei Änderungen vollständig erhalten bleiben. Konstruktive Änderungen sind damit sehr viel einfacher als früher“, sagt Norbert Rath. Das ist wichtig, weil oft mehrere Varianten untersucht werden müssen, ehe das Ergebnis wettbewerbsfähig und zugleich innerhalb des Budgetrahmens herstellbar ist. „Trotz unvergleichlich höherer Datenqualität und Ergebnissicherheit sinkt der zeitliche Aufwand und wir schaffen ein Vielfaches der Design-Iterationen von früher.“

Das wiederum erhöht die Siegeschancen des Teams und seines vollständig in NX konstruierten Krikkit 3G, aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass autonome Roboter andere, nützlichere Aufgaben als Fußballspielen gut und sicher erledigen. Sollte Ihnen an der TU Graz einer begegnen, halten Sie sich an das Motto des RoboCup Teams: „don't panic!“

Contact
Siemens PLM Software
Americas 800 498 5351
Europe 44 (0) 1276 702000
Asia-Pacific 852 2230 3333

www.siemens.com/PLM

© 2011 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved. Siemens and the Siemens logo are registered trademarks of Siemens AG. D-Cubed, Femap, Geolus, GO PLM, I-deas, Insight, Jack, JT, NX, Parasolid, Solid Edge, Teamcenter, Tecnomatix and Velocity Series are trademarks or registered trademarks of Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. or its subsidiaries in the United States and in other countries. All other logos, trademarks, registered trademarks or service marks used herein are the property of their respective holders.
X1 XXXXX 7/10 B



Zusätzlich habt ihr die Möglichkeit dabei eng mit unzähligen namhaften Industriepartnern zusammenzuarbeiten und viele gleichgestimmte „Fußballnarrische“ kennen zu lernen. Wir treffen uns jeden Montag um 18:00 Uhr im City Tower, Brückenkopfgasse 1, Galeriegeschoss zum Teammeeting.

Interesse geweckt? Melde dich einfach unter mostly_harmless@robocup.lugaz.at oder komm Montags um 18:00 Uhr in den City Tower, es ist immer wer das verbindet und engagiert Studenten zu finden, die mit der gleichen Hingabe und dem selben Spaß weiter an dem Traum eines vollautonomen Fußballweltstars mitwirken wollen! Egal wie weit Du in deine Studiengänge bist, egal welche Interessensgebiete du hast, egal ob als Universitätsprojekt oder aus reinem Spaß an der Sache, beim Mostly Harmless RoboCup Team hast du die einmalige Möglichkeit dein Wissen in den verschiedensten Disziplinen zu erweitern und Dinge auszuprobieren, die du im normalen Universitätsbetrieb nicht zu sehen bekommst! Von mechanischen Konstruktionen, der Fertigung von Dreh-, Fräs-, Schweiß- oder Erodierstücken von Platinen, dem Konzipieren von Prüfständen bis hin zum Programmieren von beeindruckenden Features und dem Organisieren von Events und Auftritten, der RoboCup bietet alles was der moderne Maschinenbauer/Wirtschaftsingenieur in sich vereinen sollte.



06/08

4



Robocup im Maschinenbau



Eine aufregende Zeit geht zu Ende und läuert gleichzeitig den Aufbruch für eine neue Generation ein! In der letzten Ausgabe haben wir an dieser Stelle noch über die Entwicklung unserer neuen Roboter-Generation berichtet. Tausende Arbeitsstunden und zahlreiche Paletten Red Bull später können wir nun das Endergebnis vorstellen! Der Prototyp der dritten Generation der Krikkit Fußballroboter des Mostly Harmless RoboCup Teams wurde im Rahmen der GermanOpen in Magdeburg im April präsentiert.

Leben zu erwecken und bilden nun auf ein aufregendes Jahr mit vielen Eindrücken, Erfahrungen, kleineren Rückschlägen und großen Erfolgen zurück. Doch nun ist es Zeit für eine neue Generation von Technikern die Herausforderungen des Maschinenbaus zu meistern. Elektriker, Telematiker, Softwareingenieure und Wirtschaftsstudenten haben mitgeholfen die Maschine zum Leben zu erwecken und bildern nun auf ein aufregendes Jahr mit vielen Eindrücken, Erfahrungen, kleineren Rückschlägen und großen Erfolgen zurück. Mit dem Ende des Sommersemesters endet für viele Teammitglieder die Zeit beim RoboCup und sie werden ihr beim Team erworbenes Wissen bei den angesehensten Firmen Europas unter Beweis stellen. Doch bevor es so weit ist, gilt es noch einmal alle Energie zu



3

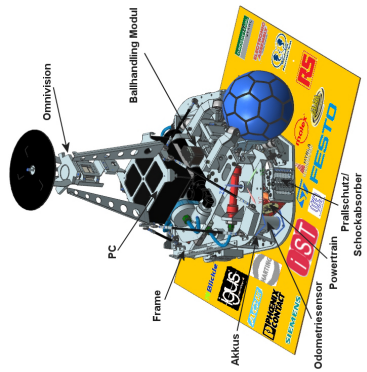
06/08

Robocup im Maschinenbau

Die TU Graz am Weg zur Fußball Weltmeisterschaft – Das MostlyHarmless Robocup Team bereitet sich auf die neue Saison vor.

Das Stadionlicht strahlt grell auf den grünen Rasen, die Fans brüllen frenetische Schlächtesänge von den Rängen während der Betreuerstab hektisch an den Outlines entlang läuft und sich letzte Instruktionen zuruft. Und dann sind sie da - die Spieler. Mit leise surrenden Motoren nehmen sie ihre Positionen am Spielfeld ein. Die omnidirektionale Kamera ständig auf den Ball fokussiert. Bereit für den ersten Schuss der pneumatischen Kickerheit...

Was wie das Hirngespinnst eines Science Fiction Autors klingt ist für die Teammitglieder des MostlyHarmless Robocup Teams längst keine Zukunftsmusik mehr.

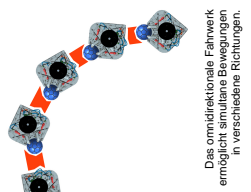


Nach dem erfolgreichen Abschneiden bei der Heimweltmeisterschaft 2009 (9. Platz) und den German Open im letzten Jahr (6.Platz) ist es nun aber Zeit noch eines Drauf zu legen! Ende März kommenden Jahres startet das Team im Rahmen der German Open in seine siebente Saison in der Midsize.

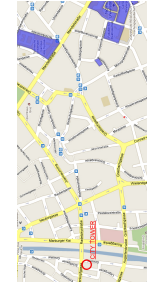


Unsere Roboter am Wiener Forschungsfest Aufbau, sondern auch einigen weiteren, spannenden Neuerungen auf. Unter anderem gibt es ab sofort eine Einzelradaufhängung um die Vibrationen des Fahrbetriebes zu dämpfen, einen Prallschutz der, in seiner Art einzigartig, beim Zusammenstoß mit anderen Robotern ein Verwischen des Kamerabildes verhindert, ein völlig neues Ballhandlingmodul, welches mit Hilfe von pneumatischen Muskeln ab sofort alle vorstellbaren

Schussvarianten ermöglicht, sowie eine zusätzliche Kamera zum Erkennen hoher Schüsse. Kurz gesagt: ist der Robocup, so sehr wie noch nie, eine perfekte Spielwiese für engagierte Maschinenbauer und Wirtschaftsingenieure, die daran interessiert sind eine Konstruktion von der Handskizze zum Einsatz bei Messen, Welt- oder Europameisterschaft zu begleiten, dabei eng mit unzähligen namhaften Industriepartnern zusammenzuarbeiten und viele gleichgesinnte



Das omnidirektionale Fahrwerk ermöglicht simultane Bewegungen in verschiedene Richtungen. **Interesse geweckt?** Melde dich einfach unter mostly_harmless@robocup.tugraz.at oder komm Montags um 18:00 Uhr in den City Tower, es ist immer wer da!



4

06/08



3

06/08

Mostly Harmless

RoboCup Team



30

Name

Mostly Harmless RoboCup Team

Aufgabenfeld

Entwicklung von autonomen Robotern die nach FIFA Regeln Fußball spielen.

Kontakt

mostly_harmless@robocup.tugraz.at
www.robocup.tugraz.at

Adresse

Galleriegeschoss CityTower
Brückenkopfgasse 1, City Tower -
Galleriegeschoss
8010 Graz

Wen suchen wir?

Studenten aller Studienrichtungen mit Interesse an der praktischen Umsetzung ihres Wissens in den Bereichen Elektronik, Regelungstechnik, Softwareentwicklung, Maschinenbau, Projektmanagement und PR.

Fußball einmal anders?

18x12m statt 110x90m, 5 vs. 5 statt 11 vs. 11 und 2x15min statt 2x45min, damit sind auch schon die Unterschiede zum "großen" Fußball der FIFA beschrieben.

Ein Fußballclub?

Das RoboCup Team MostlyHarmless entwickelt seit 2002 Roboter. Wir treten dabei in der Middle Size League an. Die vollkommen autonomen Roboter sind dabei max. 52x52x80cm groß und müssen alle Aktoren, Sensoren und die Entscheidungslogik an Board haben.



Das Weltbild des Roboters - 360°: Omnivision



Die Fortbewegung auf 3 Achsen = 360 Grad Bewegungsfreiheit: Omnidirve

Roboter auf ihre Positionen, den Ball in die Mitte, ab da ist kein Eingriff von Außen mehr erlaubt. Der Schiedsrichter gibt den Anpfiff per WLAN, ab jetzt werden die Roboter nur mehr von der Zuschauertribüne aus angefeuert..

Nun ist er auf sich alleine gestellt. Seine Kammera ist auf einen "hyperbolischen" Spiegel gerichtet und ermöglicht ihm so einen 360° Rundumblick, die "Omnivision". Ziel der Bildverarbeitung ist es, das runde Leder zu finden, sich an Hand der Spielfeldlinien zu orientieren und das Tor zu finden. Um dort hinzukommen nutzen wir die Neuerfindung des Rades, "Swedish wheels". Drei davon ermöglichen es dem Roboter, zu jeder Zeit in jede Richtung zu fahren, der "omnidirektionale Antrieb". Dazu verfügt er über einen pneumatischen Zylinder, die Kickeinrichtung. Damit kann er den Ball passen oder hoch kicken. Aus dem Zusammenspiel dieser Komponenten ergibt sich nur eines: "TOOORRRR!"

Mostly Harmless

RoboCup Team



31

Wozu das alles?

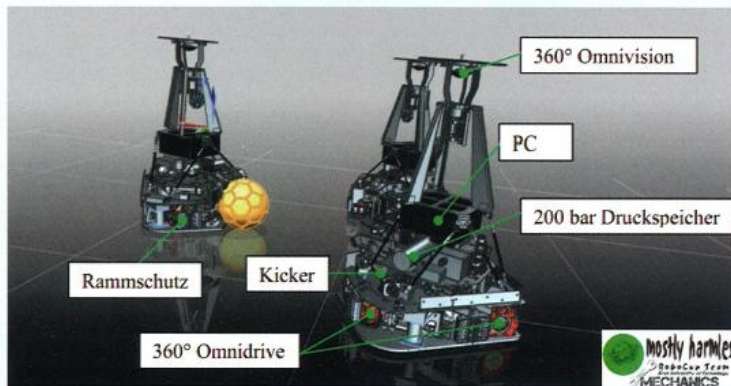
- Aus Freude an der Sache
- Praktische Anwendung deines Wissens
- Teilnahme an Europa- sowie Weltmeisterschaft

Die Middle Size League gilt als die Königsklasse des RoboCup, die Roboter spielen als einzige mit einem echten FIFA Ball nach offiziellen FIFA-Regeln.

Und Live?

Fußball ist eine Disziplin des RoboCups. Jährlich findet eine Europameister- sowie Weltmeisterschaft statt an der Teams aus mehr als 30 Ländern in unterschiedlichen Ligen teilnehmen.

Schau auf unsere Homepage oder suche auf YouTube mit den Stichworten RoboCup Middle Size oder RoboCup Graz 2009 um zu sehen wie Fußball 2050 aussehen kann.



Das Roboterteam einer neuen Generation. Stetige Weiterentwicklung der Elektronik, Mechanik und Software

Mögliche Art der Mitarbeit:

- Just for Fun, jederzeit
- BSC Projekt
- Magisterpraktikum
- Diplomarbeit

Viele unserer Arbeiten haben ein klares Ziel, bei der Umsetzung dieser Ideen kannst du aber selbst mitgestalten, wir bieten dir jegliche Form der künstlerischen Freiheit.

Interesse geweckt?

Wir treffen uns während des Semesters jeden Montag um 18:00 Uhr im City Tower, Brückenkopfgasse 1.